

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Günther Ruffert

Schäden an Betonbauwerken

Ursachen — Analysen —
Beispiele
mit 79 Abbildungen

Verlagsgesellschaft
Rudolf Müller
Köln-Braunsfeld

Г. Рүфферт

Дефекты бетонных конструкций

Перевод с немецкого
И.Г.Зеленцова

Под редакцией
канд. техн. наук
В.Б.Семенова

Техническая библиотека
www.serii.ru

Инв. № _____

Москва Стройиздат 1987

ББК 38.33
Р 91
УДК 691.32 : 620.19

Рецензент — канд. техн. наук *С. П. Павлов* (Госстрой СССР)

Руфферт Г.

Р 91 Дефекты бетонных конструкций / Пер. с нем. И. Г. Зеленцова; Под ред. В. Б. Семенова.— М.: Стройиздат, 1987. — 111 с.

В книге автора из ФРГ подробно рассмотрены причины типичных повреждений бетонных и железобетонных сооружений, возникающих в процессе их изготовления и эксплуатации. Приведены способы устранения повреждений, в том числе бетонирование, торкретирование, покрытие синтетическими смолами, заполнение трещин различными составами.

Для инженерно-технических работников строительных организаций и проектировщиков.

Р $\frac{3204000000-488}{047(01)-87}$ 128—87

ББК 38.33

© Verlagsgesellschaft Rudolf Müller
GmbH; Köln-Braunsfeld, 1982

© Предисловие к русскому изданию. Перевод на русский язык, Стройиздат, 1987

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Книга посвящена рассмотрению и анализу дефектов железобетонных конструкций зданий и сооружений. В ней описаны различные дефекты, определены причины появления и влияния их на несущую способность и долговечность сооружений из железобетона.

Давая определение понятию «дефект», автор поясняет, что это явление, которое приводит к снижению несущей способности и долговечности конструкции ниже допустимых значений. Причинами дефекта могут быть неудачное конструктивное решение, нарушения технологии изготовления, неучтенные технологические или климатические факторы. Во всех случаях дефект конструкции определяет ее несущую способность, долговечность и эксплуатационные качества.

Особенность книги состоит в том, что последовательно рассмотрены различные дефекты железобетонных конструкций, приводятся рекомендации по устранению вызывающих их причин, главной из которых автор считает агрессивное воздействие окружающей среды. Недостаточно полный учет воздействий окружающей среды приводит в ряде случаев к неприятным последствиям.

Важное место в книге занимают вопросы усиления и ремонта железобетонных конструкций. Они рассмотрены достаточно широко и исходят не только из условия обеспечения необходимой несущей

способности, но и достаточной долговечности сооружений из железобетона, с учетом изменившихся условий эксплуатации и климатических факторов.

Заслуживает внимания мнение о возможном снижении процента армирования железобетона. Оно основано на том, что в большинстве случаев причиной выхода из строя железобетонных конструкций является разрушение арматуры в результате коррозии. Уменьшение содержания арматуры, по мнению автора, создает лучшие условия для обеспечения ее коррозионной защиты.

В книге собран и систематизирован обширный фактический материал, освещены специфические вопросы проектирования, строительства и эксплуатации сооружений из железобетона. К сожалению, подавляющее большинство рассмотренных примеров относится к монолитному железобетону, что характерно для строительной практики ФРГ. Дефекты материала возникают в результате различных нарушений при производстве строительных работ.

В целом книга весьма полезна для широкого круга специалистов, занимающихся проектированием, возведением, эксплуатацией, а также ремонтом и усилением железобетонных конструкций зданий и сооружений.

Канд. техн. наук *В. Б. Семенов*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Бетон благодаря экономичности и универсальности применения является одним из основных строительных материалов. Ни один другой материал не дает таких широких возможностей архитекторам и инженерам для решения строительных задач — от сооружения новых автодорожных мостов до реставрации бесценных исторических памятников. Однако практически неограниченные его возможности, а также то обстоятельство, что бетон в отличие от других строительных материалов легко приготовить на строительной площадке, в ряде случаев приводит к ошибкам как при проектировании, так и при строительстве.

Опыт показывает, что запроектированные в строгом соответствии с требованиями, которые предъявляются к этому строительному материалу, и безупречно изготовленные железобетонные конструкции удовлетворяют всем нормативным показателям.

В то же время число разрушений бетонных сооружений постоянно растет и это приводит к необходимости выявления причин и критического их осмысления с тем, чтобы в будущем избегать нерационального применения этого материала и исключать дефекты при его изготовлении.

Рассмотренные характерные причины разрушений и примеры наиболее распространенных повреждений

должны разъяснять и служить ответом на три основных вопроса:

как в будущем, при возведении новых сооружений, избежать подобных дефектов, а также повысить надежность и экономичность бетонных сооружений;

как своевременно выявить повреждения бетонных конструкций, с тем чтобы избежать их развития и обусловленную этим опасность снижения долговечности строительных сооружений;

какие требования должны предъявляться к технологии изготовления бетонных конструкций с целью обеспечения их ремонтнопригодности.

Автор ставил целью разъяснить причины разрушения железобетонных сооружений и сделать это в форме, достаточно ясной и понятной даже людям без специального образования. Предлагаемый перечень примеров помогает этому, однако не дает исчерпывающего ответа на многочисленные вопросы. Он служит дополнительной информацией и хорошим руководством специалистам и организациям, занимающимся проектированием, строительством, составлением и переработкой технических норм и строительных правил, очень полезен при рассмотрении вопросов разрушения железобетонных сооружений и их последующего восстановления.

1. НЕОБХОДИМОСТЬ ИНФОРМАЦИИ О РАЗРУШЕНИЯХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Бетон не является универсальным строительным материалом, так как существуют требования, которым он не удовлетворяет или из-за своего химического состава, или из-за невозможности образовывать нужную форму в результате присущей этому материалу низкой прочности на растяжение, приводящей к образованию трещин.

При появлении в бетонных сооружениях дефектов и повреждений их нужно тщательно исследовать и выявить причины возникновения. Это могут быть ошибки при изготовлении бетона (производственные ошибки) или при проектировании бетонных сооружений (недостаточная несущая способность).

Более полные знания специалистов о возможностях бетона должны способствовать снижению дефектов при строительстве и, следовательно, уменьшению ущерба от них. Лица, занятые проектированием, возведением и эксплуатацией строительных объектов, ощущают недостаток знаний о строительных дефектах, обусловленный отсутствием популярной и основанной на практическом материале информации.

Очевидно, что ответственные за обнаруженные строительные дефекты проектные организации и строительные фирмы не стремятся обнародовать свои ошибки. Однако для дальнейшего совершенствования строительных норм, а также

для уверенности в надежности эксплуатационных качеств наших строительных объектов, для получения знаний об «узких» местах существующих строительных конструкций эта точка зрения является недальновидной. Каждое техническое направление нуждается в «обратной связи» («feedback»). Откуда же должна поступать информация, необходимая для совершенствования наших строительных норм, для своевременного обнаружения разрушений строительных объектов и последующего их восстановления, как не из современных объективных данных, основанных на строгом анализе фактического материала о выходе из строя строительных сооружений?

Большая часть несущих конструкций строительных сооружений, возводимых за последние десятилетия, полностью или частично изготовлена из бетона, поэтому очевидно, что термин «разрушение бетона» становится синонимом понятия «разрушение строительных сооружений». Основной причиной все возрастающего числа повреждений бетонных сооружений является то обстоятельство, что в течение многих лет не задумывались над причинами выхода из строя строительных объектов и необходимая корректировка строительных норм отставала от фактических требований. Другая причина выхода из строя строительных сооружений — ошибочное мнение о

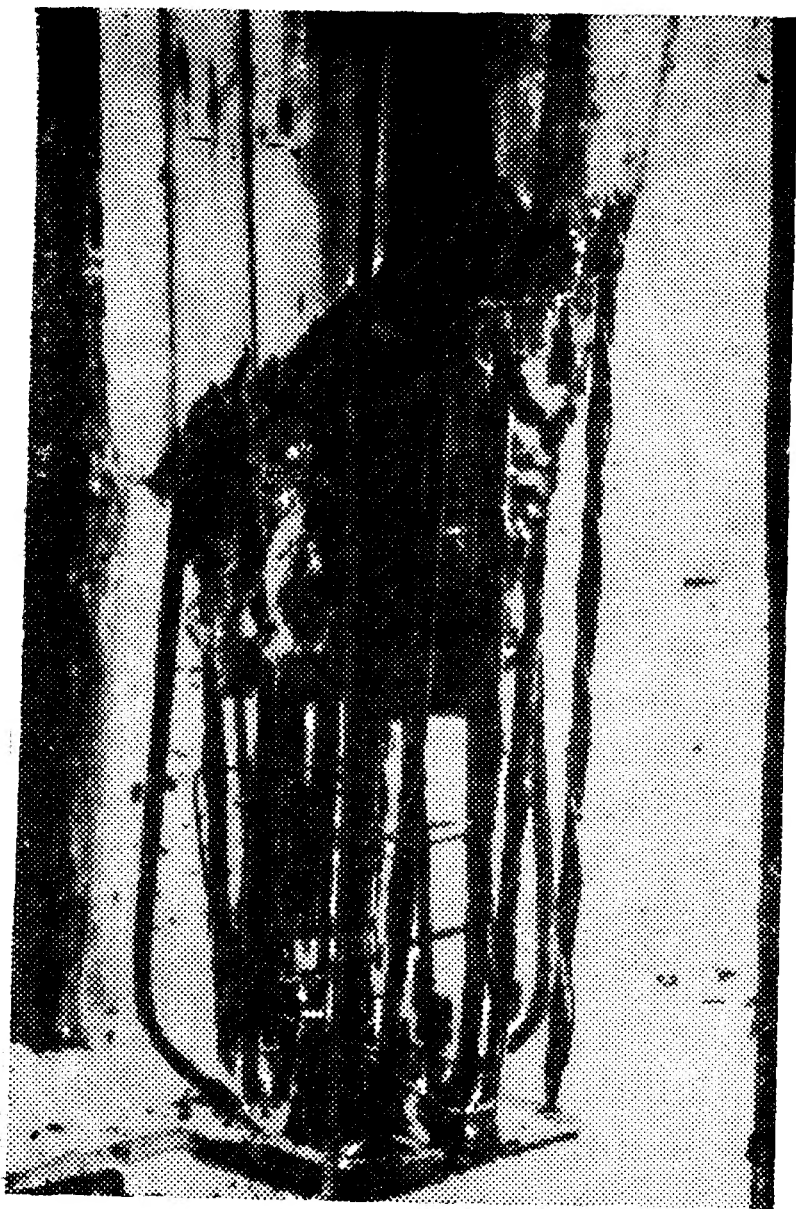


Рис. 1. Типичная ошибка проектирования. Конструктивная недоработка опорной части элемента

том, что бетонные сооружения надо только сконструировать в полном соответствии с нормами проектирования, а на период эксплуатации о них можно забыть.

2. ДЕФЕКТЫ БЕТОНА, ПРИВОДЯЩИЕ К ЕГО РАЗРУШЕНИЮ

Срок службы строительных элементов может быть значительно снижен по двум причинам: строительные элементы изготовлены с браком; строительные элементы эксплуатируются в таких условиях, для которых они не предназначены. Такие понятия, как строительные дефекты и строительные разрушения, не имеют четкого определения ни в стандартизации, ни в юрисдикции. Причины повреждений строительных конструкций зачастую

На протяжении своего существования бетон испытывает различные по характеру и интенсивности механические, физические и химические воздействия, которые могут отрицательно влиять на его прочностные характеристики и, прежде всего, на способность арматуры сопротивляться коррозионному действию.

В строительных правилах записано, что в обязанности застройщиков входит, таким образом, возводить и содержать строительные объекты, чтобы жизнь и здоровье людей не подвергались опасности. Разработаны соответствующие мероприятия по содержанию этих сооружений и своевременному обнаружению дефектов, повреждений, а также их устранению. Это предполагает быстрое обнаружение мест выхода из строя конструкций строительных сооружений и накопление знаний о типичных причинах возникновения этих повреждений.

допускают двойственность толкований, поэтому разграничение этих понятий для выявления причин повреждений и, следовательно, ответственности за это, связано с определенными трудностями.

Правила о выполнении подрядно-строительных работ (VOB), которые регулируют договорные соглашения между заказчиком и подрядной строительной организацией, используют лишь понятие «дефект». Существуют строительные де-

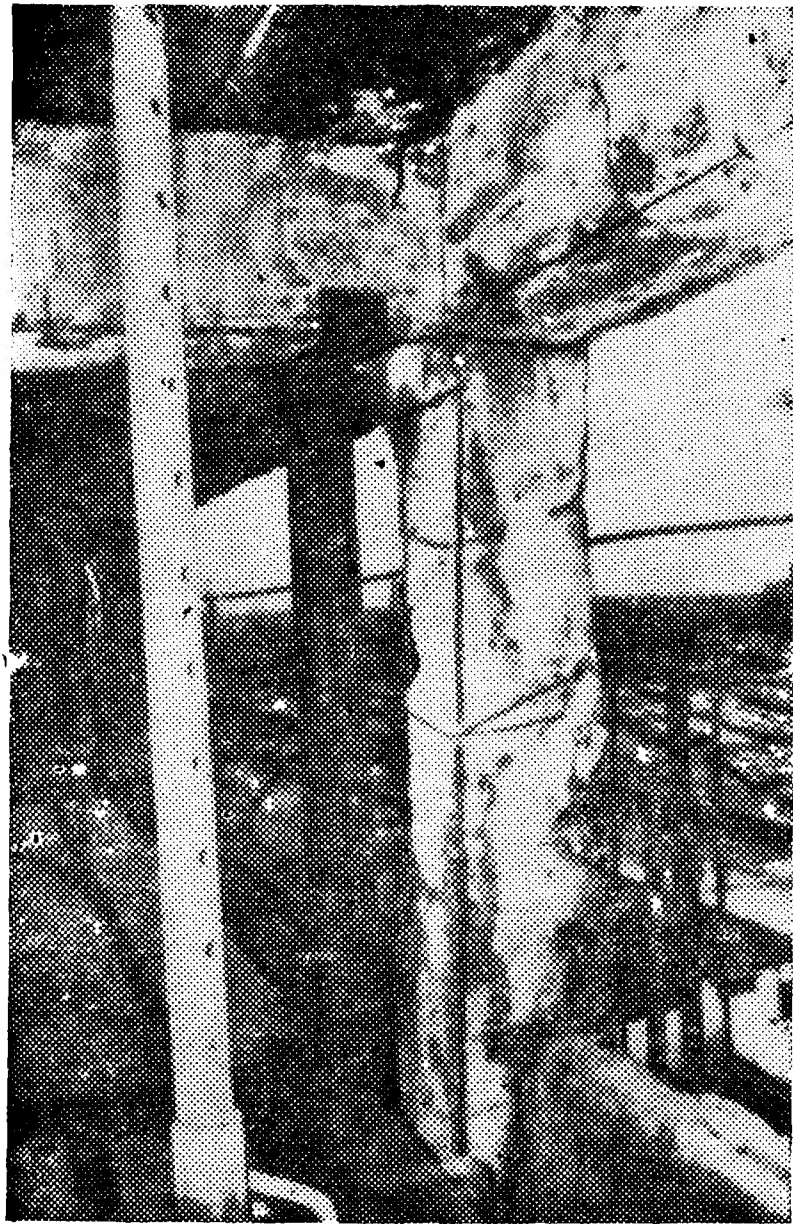


Рис. 2. Повреждения при перегрузках строительного материала (например, в результате пожара)

фекты, т. е. отклонения от договорных соглашений, обнаруженные при завершении (приемке) строительного объекта. Если этот дефект не будет обнаружен во время приемки объекта, то существует еще двухлетний срок, в течение которого обнаруженные дефекты должны быть устранены. Таким образом, речь идет о дефектах, которые являются следствием неправильного проектирования или исполнения, т. е. о дефектах, которые противоречат определенным пунктам строительного договора или же просто не соответствуют строительным нормам и правилам. Строительный дефект обнаруживается, как правило, лишь тогда (особенно в железобетонных конструкциях), когда становит-

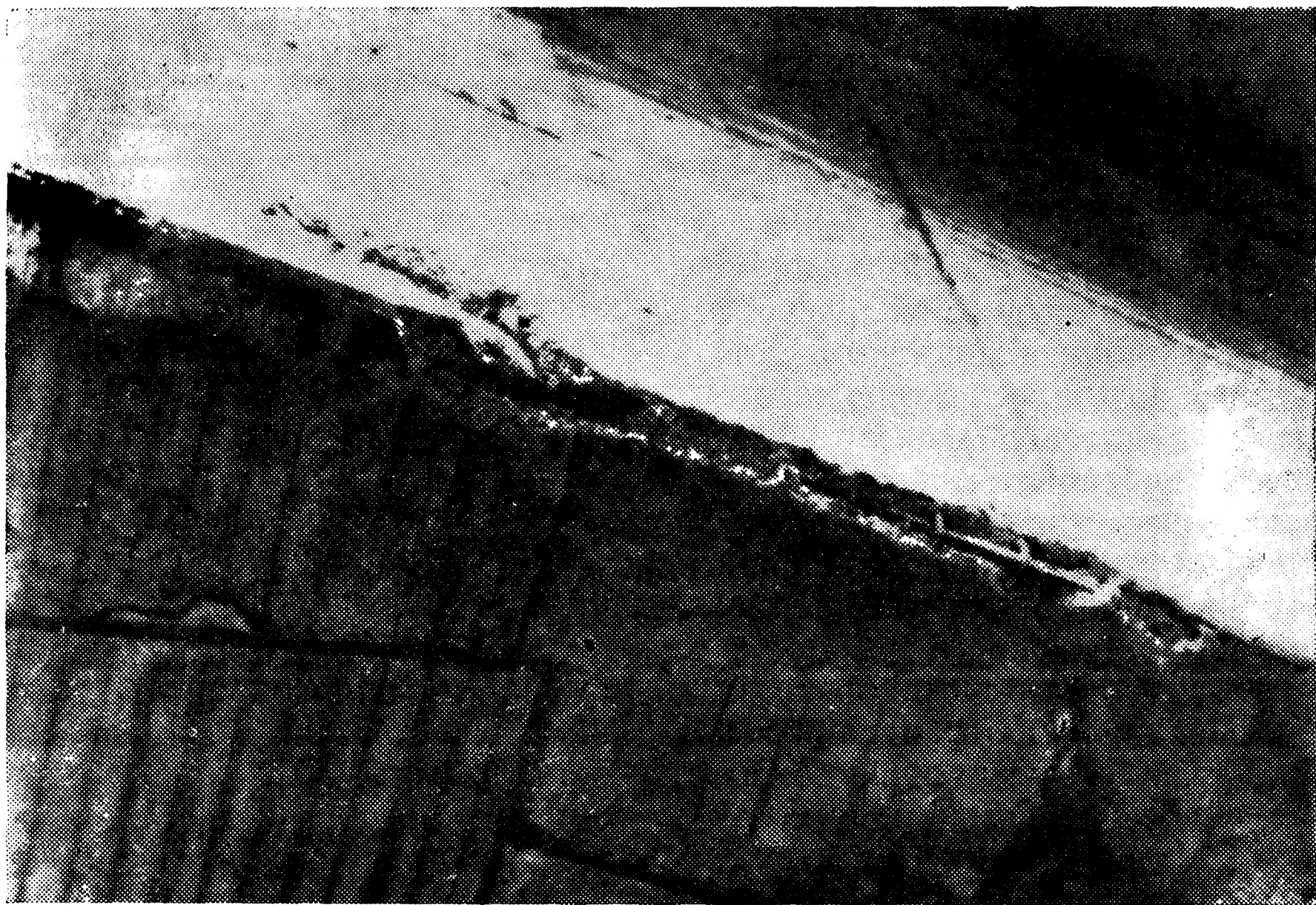


Рис. 3. Обнаружение строительных дефектов, когда по их причине произошел выход из строя элементов строительной конструкции

ся причиной повреждений строительного элемента.

Разрушение строительных элементов — это изменение состояния строительного объекта, в результате которого нарушается возможность эксплуатации или снижается его надежность. Причиной выхода из строя сооружения всегда является либо строительный дефект, либо перенапряжение конструктивных элементов или строительных материалов.

Зачастую имеющиеся дефекты быстро обнаруживают благодаря перенапряжению материала, т. е. физическим нагрузкам или химическим воздействиям на конструктивные элементы или материалы, которые не были предусмотрены при проектировании, так как при перенапряжении выходят из строя прежде всего слабые места конструкций. Например, при возникновении пожаров часто недостаточное количество арматуры в железобетонных конструкциях ведет к образованию трещин или же при агрессивном химическом воздействии вследствие недостаточного защитного слоя бетона возникает коррозия арматуры, т. е. образуются дефекты, которые могли бы не возникнуть при правильном проектировании и соблюдении строительных норм или же при обычных нагрузках на элементы строительных конструкций. Итак, под строительными дефектами понимают произошедшие со временем изменения материалов, из-за которых снижается безопасность, становится невозможной эксплуатация здания или приходит в

негодность его внешний вид, т. е. такие изменения, которые выходят за пределы, допустимые строительными нормами и правилами. Причиной таких строительных дефектов может стать изъян, заложенный уже при сооружении строительного объекта, но еще не обнаруженный (например, недостаточный защитный слой бетона), который может привести к тому, что строительный объект, будучи подвергнут различным воздействиям, не сможет их воспринять (например, при пожаре).

При соблюдении всех строительных норм и правил можно рассчитывать на требуемую долговечность строительных сооружений и их достаточную несущую способность при внешних воздействиях. Но практика показывает, что влияние окружающей среды постоянно изменяется, в связи с чем сроки службы строительных конструкций могут меняться. Или же, выражаясь иначе, чтобы сроки службы строительных сооружений при постоянно изменяющихся воздействиях окружающей среды оставались бы неизменными, требования строительных норм и правил должны периодически корректироваться соответственно изменяющимся внешним воздействиям.

Нормы являются обобщением накопленного уровня технических знаний в определенной области. Следовательно, они не могут быть окончательными и должны периодически пересматриваться с учетом новейших достижений науки, основанных на послед-

них данных исследовательских работ и современной практики. В последнее время необходимые изменения наших строительных норм несколько запаздывают.

Типичным примером этого могут служить требования защиты железобетонных мостов от воздействия соли, применяемой для таяния льда на дорожном полотне. Необходимость проведения соответствующей корректировки существующих норм требует объективного и глубокого анализа многочисленных строительных дефектов. При этом обращение к реальным фактам может быть не только основой для совершенствования строительных норм, но и убедительным наглядным пособием для практического обучения. Таким образом, речь идет не о том, чтобы при описании характерных строительных дефектов подвергать критике определенный строительный материал или профессиональный уровень исполнителей, а в большей степени об исследовании причин появления дефектов, о выработке мероприятий, направленных на то, чтобы исключить их появление, а также на исправление обнаруженных изъянов с целью предотвращения последующих разрушений строительных объектов.

Довольно сложно отнести строительный дефект к ошибке, заложенной при проектировании, или к ошибке, совершенной в процессе строительства. Нет смысла заниматься статистическим анализом строительных дефектов в зависимости от причин их



Рис. 4. Коррозионные повреждения конструкции из железобетона церкви Поминования Кайзера Вильгельма в Берлине

возникновения, но есть настоятельная необходимость разбираться в каждом отдельном случае выявленного дефекта для определения причин его возникновения.

Каждое строительное сооружение и прежде всего железобетонное — результат коллективных усилий специалистов, которые должны обладать знаниями соответствующих разделов строительных норм и правил. Поэтому VOB/В предписывают, что ответственность за строительный дефект подрядной организации снимается лишь в том случае, если будет заблаговременное (в письменной форме) заявление о сомнениях в правильности решения того или иного вопроса при

разработке проекта. Если, например, конструктор допускает в арматурном чертеже слишком незначительный зазор между стержнями арматуры, а производитель работ укладывает бетон не соблюдая VOB/V, то невозможно четко установить кто виновен в браке, когда после распалубки дефект уже становится видимым.

Точно так же нельзя оправдывать проектировщика, когда, согласно DIN 1045, размеры конструкции не обеспечивают необходимую толщину защитного слоя бетона. В этом случае необходимо увеличить размеры конструкции и довести защитный слой до требуемой величины (например, для строительных конструкций, подвергаемых влиянию атмосферных воздействий, толщина должна быть не менее 1 см). При несоблюдении этих требований предприятия, производящие строительные работы, из-за недостаточной толщины защитного слоя бетона не обеспечат необходимую защиту строительных элементов от коррозии.

Почти при каждом случае повреждения железобетонных конструкций встает вопрос: кто должен возмещать расходы по устранению неисправностей? Главной причиной возросшего в последнее время числа разрушений железобетонных строительных сооружений являются некоторые качества бетона, которые только с течением времени позволяют выявить дефекты, например неправильное армирование, недостаточное уплотнение или

недостаточный защитный слой бетона скрыты в бетоне и обнаруживаются спустя много лет в результате разрушения элементов строительных конструкций. Но к этому моменту два года, оговоренные в VOB/V, за которые дефект может быть исправлен, уже истекли.

Анализ случаев аварий на строительных объектах из обычного железобетона и предварительно напряженного железобетона показывает, что большая часть всех разрушений обусловлена коррозией стальной арматуры.

Одним из обязательных условий является то, что уложенная в бетон для восприятия растягивающих напряжений сталь должна быть защищена им от коррозии. Но эта защита с течением времени из-за карбонизации бетона начинает постепенно разрушаться. Для того чтобы повысить срок защиты стали от коррозии, надо увеличить толщину защитного слоя бетонного покрытия. В противном случае на конструкциях, подверженных атмосферному воздействию, начнется разрушение защитного слоя бетона, обуславливающее защиту арматуры от коррозии.

Печально известен объект — построенная в 50-х годах церковь Поминовения в Берлине, у которой через 20 лет коррозионные разрушения достигли такого объема, что состояние этого сооружения лишь весьма условно позволяет называть его памятником архитектуры. Таким образом, вопрос о коррозии

строительных элементов и прежде всего о коррозии железобетонных конструкций, подвергаемых влиянию атмосферных воздействий, все больше заботит умы специалистов и экспертов. Основными задачами специалистов являются выяснение причин разрушений и выработка предложений по восстановлению поврежденных объектов, устранение этих причин с целью длительной и надежной эксплуатации строительных сооружений.

При выяснении причин повреждений бетонных сооружений дело обстоит относительно просто. В основе производства строительных работ лежат DIN 1045 «Бетонные и железобетонные работы». В них, в частности, установлен минимальный защитный слой бетонного покрытия, обеспечивающего защиту стали от коррозии; свойства (класс по плотности), которым должен обладать бетон для обеспечения надежной защиты арматуры от коррозии в течение длительного времени.

Если имеет место нарушение требований DIN 1045, и это можно установить конт-

рольными замерами и контрольными испытаниями качества бетона, то тогда строитель-подрядчик должен устранить выявленные дефекты. Если дефекты не выявлены в течение двух лет, то требования застройщиков к их устранению не имеют силы за давностью. Однако в течение этого времени даже бетонное покрытие толщиной всего лишь в несколько миллиметров оказывает свое защитное воздействие. Поэтому для доказательства вины подрядчика суду необходимо представить доказательство, что дефект был допущен сознательно или по грубой небрежности. Но такие доказательства, спустя 10 и более лет после завершения строительства, можно привести лишь в очень редких случаях.

Наилучшим решением этого вопроса был бы своевременный дополнительный контроль выполненной работы, особенно в наиболее ответственных местах (например, определение фактической толщины защитного слоя бетона с помощью прибора, определяющего положение стальной арматуры в бетоне).

3. НАДЕЖНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

3.1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К НАДЕЖНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Все части несущих конструкций должны быть рассчитаны так, чтобы обеспечивать достаточную надежность, т. е. воспринимать все предусмот-

ренные при эксплуатации нагрузки и влияние окружающей среды. Конструкции должны обладать соответствующими запасами, чтобы воспринимать нагрузки при возможных ослаблениях материалов (дефекты строительства) или при различных перенапряжениях.

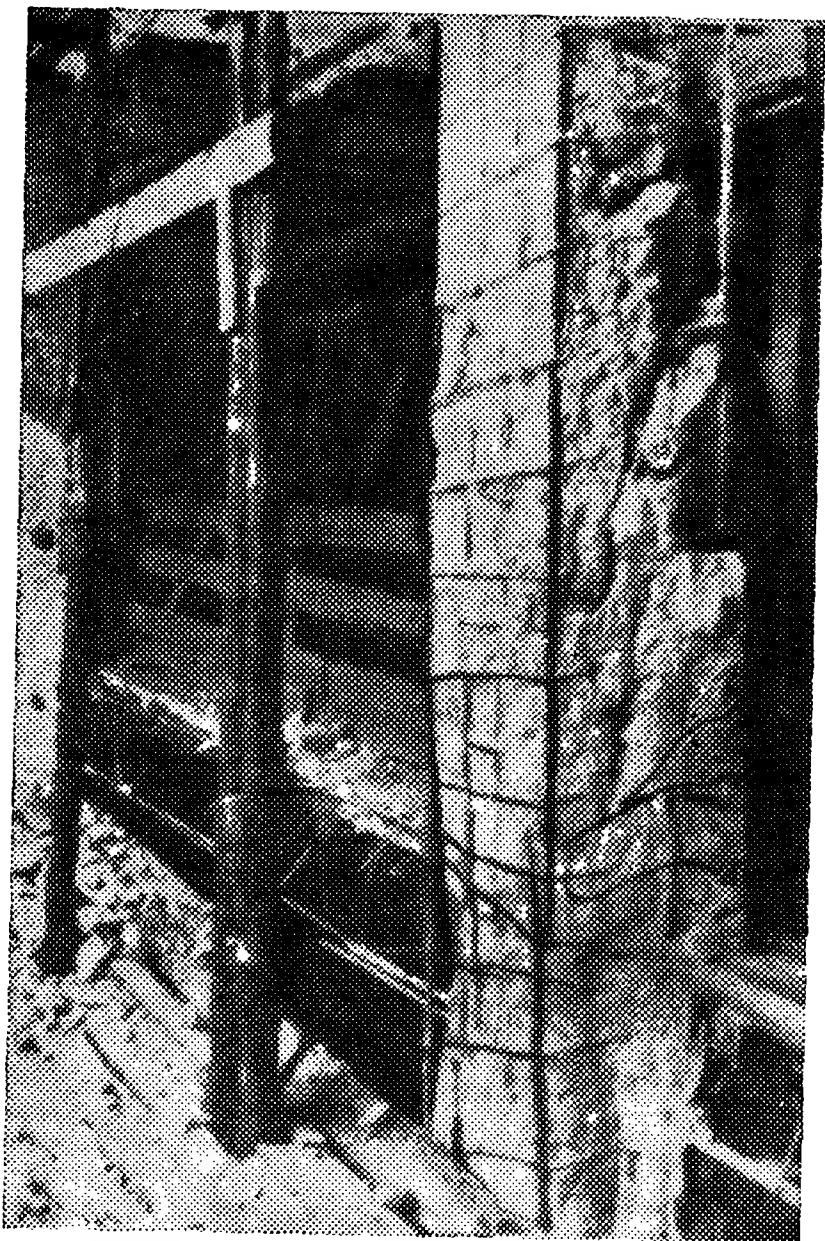


Рис. 5. Предупредительные меры, повышающие надежность конструкции, уменьшают степень риска в катастрофических случаях

(дефекты проектирования). Опыт последних лет приводит к выводу, что необходимо также предусматривать гарантию против все более возрастающего агрессивного воздействия окружающей среды (SO_2 , NaCl и т. д.).

Во всех случаях железобетонные конструкции должны обладать надежностью и наименьшей вероятностью выхода из строя. Речь идет не об абсолютной надежности, а о надежности с определенной степенью вероятности. Для этого все факторы, определяющие надежность конструкций, базируют не на субъективных оценках, а на единых принципах. В нормах выделяют три основных момента для расче-

та надежности железобетонных конструкций:

определяют допускаемые напряжения для материала (расчетные данные), которые позволяют рассчитать допустимые нагрузки на материал;

ожидаемые нагрузки умножают на коэффициент безопасности, с тем чтобы перекрыть предельно возможные нагрузки или непредвиденные неблагоприятные перегрузки;

на основе статистического материала определяют вероятность выхода из строя строительных элементов (достижение предельного состояния), которая для разного вида конструкций и соответственно статических систем может быть различной, и затем для каждого случая устанавливают необходимый коэффициент запаса прочности.

3.2. ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ЗАПАС ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Нет гарантии, что строительные сооружения не выйдут из строя на определенном этапе эксплуатации. Поэтому расходы на обеспечение необходимой надежности строительных сооружений и достигнутый благодаря этому эффект должны быть экономически оправданными, в противном случае они не имели бы смысла.

В то же время иногда возможно несоответствие принятых коэффициентов запаса и действительных нагрузок на конструкции, что также может привести к снижению срока

службы сооружения. Такие несоответствия надо своевременно устранять.

Также необходимо проводить теоретические и экспериментальные исследования конструкций и сооружений для установления фактической их работы и последующего совершенствования норм проектирования.

При требуемой для строительного предприятия гарантии нормальной эксплуатации можно вести речь только об экономически оправданных затратах, дающих максимальный эффект. При оценке экономически оправданных затрат, сопоставлении вероятных выгод или убытков нужно исходить не только из финансовых соображений, но учитывать и социальные критерии, в особенности фактор безопасности жизни и здоровья людей.

При всем многообразии факторов, негативно влияющих на надежность строительных конструкций, речь идет преимущественно о разбросе случайных значений этих факторов. Оценка вероятности проявления этих воздействий возможна лишь с помощью статистического анализа множества случайных величин и применения математической модели, как, например, нормальное распределение Гаусса. При этом все случайные и сомнительные величины следует отбросить, а не вызывающие сомнения результаты привести к данным с определенной степенью надежности, которые затем ввести в расчеты строительных конструкций. Для определения приемлемости

такого подхода для достижения основной цели, а именно для оптимизации затрат, прибыли и оценки возможных последствий выхода из строя строительных конструкций, следует исследовать большую группу проблем (например, воздействия изменяющегося влияния окружающей среды на строительные сооружения, возможные дефекты при проведении строительных работ, отклонения от заданных в проекте размеров и т. д.) и распределить их соответствующим образом в зависимости от степени воздействия. Для каждой вновь выявленной группы следует провести анализ и определить, обеспечивают ли факторы необходимую степень надежности, а также разработать новые мероприятия для достижения поставленной цели, а затем ввести их как обязательные, в строительные нормы и правила.

3.3. ВЫЯВЛЕНИЕ И ИСКЛЮЧЕНИЕ ФАКТОРОВ, СНИЖАЮЩИХ НАДЕЖНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Снижение вероятности выхода из строя строительных элементов, или, выражаясь иначе, повышение их надежности может быть достигнуто с помощью более точного охвата и оценки всех отрицательных факторов, которые должны быть приняты во внимание при проведении расчетов по прочности, а также тем, что должны быть исключены, по возможности, все факторы, оказывающие влияние на надежность конструкции (например,

дефекты при производстве строительных работ). Кроме того, целесообразно вводить дополнительные мероприятия (например, увеличение поперечного сечения несущих конструкций).

3.3.1. Снижение несущей способности материалов. Развитие строительной техники и возрастающее число научных исследований бетона как строительного материала дали большой объем сведений о качестве этого материала и вместе с этим возможность более правильных расчетов его прочности и представление о возникающих в нем напряжениях и деформациях. Характерные разбросы значений прочности бетона предусматривают в гарантийном свидетельстве введение соответствующих поправок на надежность (5 % всех случаев, для которых фактическая прочность меньше средней кубиковой прочности бетона на сжатие). Коэффициент запаса прочности для строительства из предварительно напряженного железобетона принимается по стандартам для обычных железобетонных конструкций. За последнее время накоплен опыт получения строительного материала с высокими эксплуатационными качествами: элементы строительных конструкций стали более изящными, в то время как способность материала противостоять внешним воздействиям, особенно коррозии, частично уменьшилась. В будущем будут проводиться более целенаправленные исследования для выяснения, в какой мере высокие

прочностные качества материалов компенсируют возрастающую подверженность определенных конструкций к коррозии, приводящей к снижению резерва надежности строительных сооружений.

3.3.2. Снижение надежности, вызванное перенапряжением несущих конструкций. Конструкции находятся под влиянием внешних воздействий. Установленные в DIN 1055 нагрузки, которые представляют собой не абсолютные предельные, а определенные статистические значения, рассчитаны с применением вероятностной модели, приближенной к самым неблагоприятным условиям. Такие катастрофические случаи, как, например, пожар на фабрике или столкновение грузового автомобиля с опорой моста, должны быть предусмотрены и учтены соответствующим коэффициентом запаса прочности.

Необходимость в исследовании железобетонных конструкций обуславливается относительно невысокой сопротивляемостью их при неблагоприятном воздействии окружающей среды. Например, воздействие соли на железобетонные мосты рассматривалось с точки зрения повышения сопротивляемости бетона воздействию соли. Возрастающая опасность коррозии арматурной стали, особенно предварительно напряженной арматуры, а также ее влияние на резервы прочности мостов до сих пор мало исследованы. То же можно сказать и о проблеме коррозии бетонов, вызванной образованием аг-

рессивно воздействующих на бетон растворов в порах бетонных покрытий. Тщательно изучается коррозия бетона в канализационных коллекторах.

3.3.3. Снижение надежности из-за упрощения статических расчетов. Одна из причин возрастания случаев разрушения бетона заключается в том, что бытует уверенность в возможности учета в расчетах всех случаев каких-либо отрицательных воздействий и нагрузок. Однако невозможно точно учесть все одновременно влияющие на строительные элементы нагрузки, особенно в конструкциях с четким членением и переменными внешними размерами, когда они взаимно сопрягаются и воздействуют друг на друга. Поэтому расчеты проводят с определенными допущениями. Если затем эти упрощенные расчеты становятся основанием для определения размеров поперечного сечения несущего элемента, то не остается резерва для восприятия неучтенных нагрузок и воздействий, которые могут быть определены на основании точных расчетов.

3.3.4. Снижение надежности, обусловленное качеством строительных работ. Все параметры, определяющие надежность, включают в себя и субъективный фактор, т. е. людей, участвующих в процессе создания строительных объектов. Следовательно, необходимо учитывать в расчетах и при конструировании возможные ошибки людей путем:

конструктивных требований, которые создают определенные прочностные резервы и

не допускают выхода из строя несущих конструкций;

правил контроля и приемки строительных объектов, которые позволяют своевременно выявить и устранить ошибки, обусловленные субъективным фактором.

Имеются и другие недостатки на строительных площадках, усугубляющиеся тем, что в последнее время возросло применение в строительстве неквалифицированных иностранных рабочих, а также тем, что специалисты, осуществляющие надзор за строительством, стараются скрывать обнаруженные дефекты, устранение которых требует значительных издержек, в надежде на то, что они обнаружатся по истечении срока давности.

Для уменьшения возможного ущерба и тем самым для обеспечения резервов надежности сооружений обсуждается вопрос о повышении ответственности за производство строительных работ и в особенности за укладку бетона. Увеличивающееся число повреждений, вызванных коррозией арматуры, из-за недостаточного бетонного покрытия показывает, что эти мероприятия нужно было осуществить гораздо раньше.

3.3.5. Снижение надежности, вызванное сроком эксплуатации строительного сооружения. Для единого понятия надежности сооружения требуется определение срока службы или предполагаемая продолжительность эксплуатации строительного объекта, (как правило, 50 лет). Произвольно установлен облагаемый

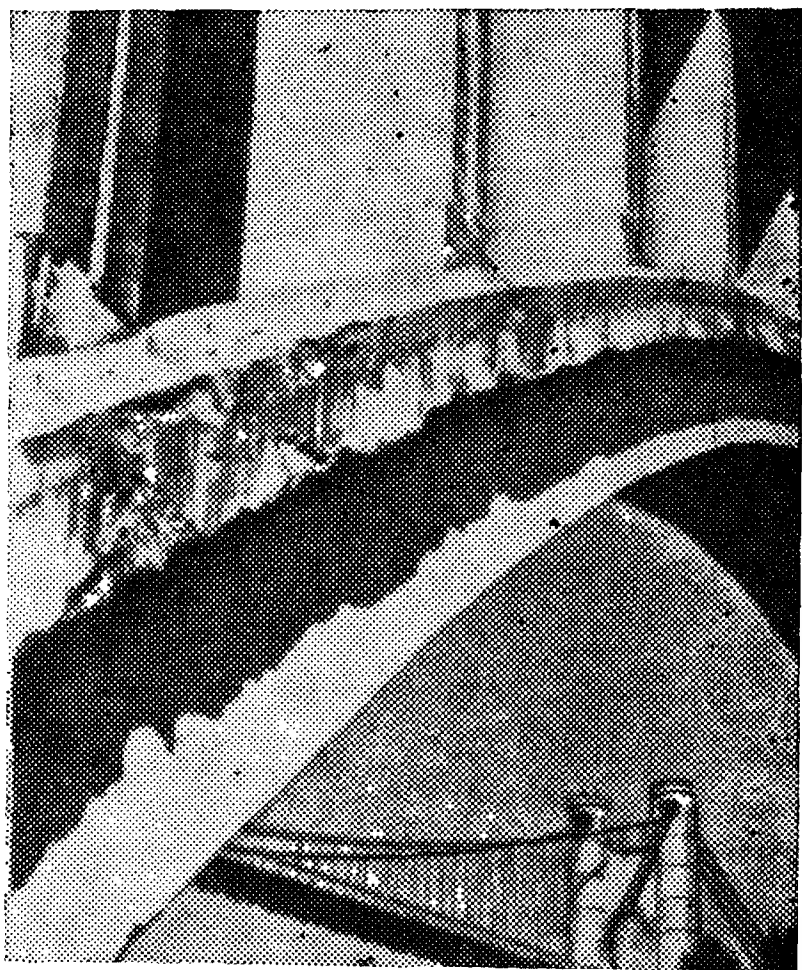


Рис. 6. Гальский мост (Pont de la Gaillie) во Французских Альпах (эксплуатируется 60 лет. Уже заметны начинающиеся коррозионные разрушения)

налогом срок эксплуатации и срок амортизации строительного объекта. Скрытые дефекты, вызванные низким качеством материала в железобетонных сооружениях, в большинстве случаев обнаруживаются спустя десятилетия, поэтому, очевидно, следует проводить испытания строительных сооружений не только во время приемки законченного строительного объекта, но и в процессе эксплуатации. Объем проведения таких испытаний должен вытекать из положений действующей в настоящее время теории надежности.

Предлагаемые исследования должны ответить на следующие вопросы:

как изменяются свойства материалов и как это влияет на несущую способность материалов и конструкций в условиях длительного воздействия на них различных нагруз-

зок (за период более чем 50 лет);

как изменяются нагрузки через такой длительный срок, как изменяются различные воздействия окружающей среды, какие объекты особенно сильно повреждаются;

как возникающие в течение длительного времени повреждения строительных элементов (такие, как коррозия стальных деталей, отслоение бетонного покрытия и т. п.) учесть в теории надежности, которая лежит в основе строительных норм и правил, т. е. связать с коэффициентом запаса прочности.

3.4. ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В течение длительного срока эксплуатации строительного объекта неизбежно происходят повреждения железобетонных конструкций, приводящие к отслоению защитного слоя бетона с последующей коррозией металла.

Бетонное покрытие выполняет три функции.

Восприятие нагрузки. Восприятие растягивающих напряжений арматурной сталью происходит в результате сцепления арматуры с бетоном. В этом случае нагрузку воспринимает весь бетон, окружающий сталь. Если происходит отслоение защитного слоя бетона, то для восприятия напряжения в зоне армирования остается в лучшем случае 50 % бетона на боковой поверхности стальной арматуры.

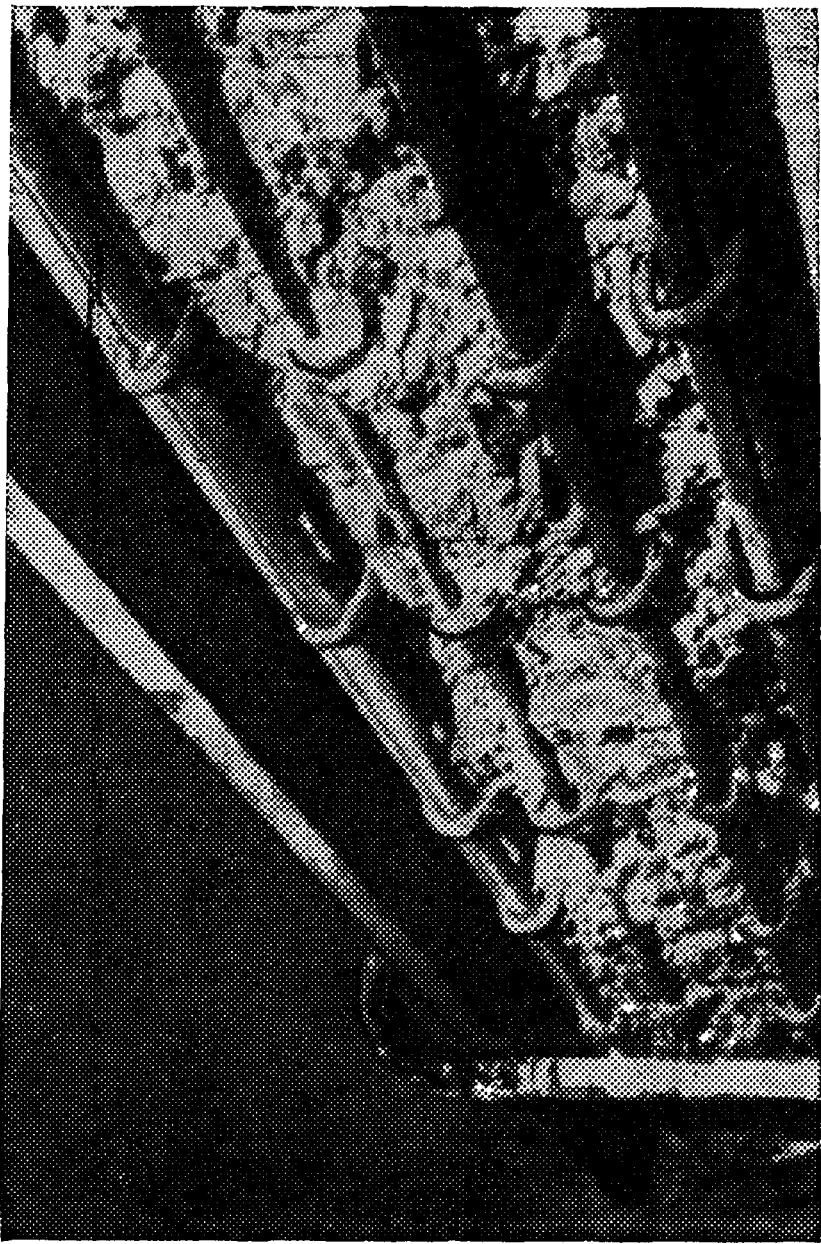


Рис. 7. Разрушения бетона, окружающего сталь

Коррозионная защита. Железобетонные детали в большинстве случаев работают на изгиб: на одной из сторон поперечного сечения возникает сжатие, а на противоположной — растяжение. Так как в поперечном сечении железобетонной конструкции бетон воспринимает сжимающие, а сталь — растягивающие напряжения, то арматуру располагают как можно ближе к месту максимальных растягивающих напряжений, т. е. к периферии поперечного сечения. Надо следить за тем, чтобы был обеспечен необходимый для защиты от коррозии слой бетона, соответствующий условиям окружающей среды.

Коррозионная защита стали

в бетоне обеспечивается большим количеством гидроокиси кальция, образующейся при гидратации цементной массы и растворяющейся в поровых водах цементного камня. Благодаря карбонизации бетона, т. е. химической реакции гидроокиси кальция с углекислым газом воздуха, отпадает необходимость коррозионной защиты стали.

Темп происходящей в глубь бетона карбонизации, зависит: от длительности процесса и от сопротивляемости бетона прониканию воздуха; от содержания углекислого газа в воздухе и от количества гидроокиси кальция, необходимого для протекания процесса карбонизации. Таким образом, коррозионная защита зависит не только от толщины и плотности бетонного покрытия, но и от содержания в нем гидроокиси кальция.

Защитные функции при воздействии высоких температур. Запас прочности здания при пожаре зависит от воздействия огня на детали строительных элементов. Строительные нормы и правила для строительства высотных зданий определяют срок огнестойкости, в течение которого должна быть обеспечена эвакуация персонала при пожаре. Огнестойкость, принятая согласно DIN 4102, может быть обеспечена для железобетонных деталей лишь в том случае, если защита арматурной стали от быстрого нагревания обеспечена достаточным слоем бетона. Следовательно, стальная арматура в обычном и предварительно на-

Купольный
трест „Оргтехстрой“
Тех. бин
6399

кого слоя покрытия, который при возникании пожара гарантирует в течение определенного срока (соответственно 60 или 90 мин) необходимую противопожарную стойкость, т. е. фронт критических температур, который во время пожара, постепенно перемещаясь в бетонном слое, в течение заданного времени не должен достичь арматурной стали. Если бетонное покрытие заменено другим материалом, то пригодность его должна быть обоснована испытанием на огнестойкость, согласно DIN 4102.

Таким образом теория надежности требует не только исправления всех возникающих повреждений, но и защиты восстановленных строительных элементов от возможных новых повреждений. Это означает, что при производстве работ по восстановлению бетонного покрытия следует обеспечить не только коррозионную защиту стальных элементов и



Рис. 8. При пожаре бетон защищает сталь от быстрого перегрева и тем самым от быстрого выхода ее из строя

надежное сцепление арматуры и бетона, но и гарантировать требуемую огнестойкость.

4. НЕОБХОДИМОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОФИЛАКТИКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Строительное сооружение считается непригодным к эксплуатации или эксплуатация его ограничена, если один или несколько его элементов не справляются со своими функциями. Так как надежность строительного сооружения определяется его наиболее слабым элементом, то строительные нормы предусматривают введение соответствующих коэффициентов запаса прочности, чтобы в процессе определения основных размеров иск-

лючить риск еще на стадии проектирования и строительства и чтобы никакие опасные повреждения (в особенности разрушения наземных элементов, зачастую происходящие неожиданно и без всяких симптомов) и обеспечить надежность всего сооружения.

Разрушения начинаются медленно с наружной поверхности бетона или стали. По прошествии небольшого срока эти повреждения не оказывают существенного воздействия на

надежность и эксплуатационную пригодность здания, но с течением времени из-за уменьшения поперечного сечения частей несущих конструкций они становятся опасными для всего строительного сооружения. Большую часть этих повреждений можно предотвратить, улучшая качество проектирования и производства строительных работ.

4.1. ПОДБОР ОПЫТНЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ РАБОТ

Бетон, без сомнения, является одним из самых долговечных строительных материалов. При соблюдении всех технологических и конструктивных положений, определенных нормами по производству бетонных работ, он может без дополнительной защиты внешней поверхности противостоять климатическим воздействиям. Однако технические нормы содержат требования, определяющие лишь предельно допустимые отклонения и минимально допустимые конструктивные параметры. Для успешного применения норм необходимы еще специальные знания и опыт инженеров и специалистов, работающих в области строительства и эксплуатации железобетонных сооружений, о чем говорится в DIN 1045: «Проектирование, расчет и возведение строительных сооружений и деталей из бетона и железобетона требуют глубоких знаний и большого опыта».

Застройщик или его полно-

мочный представитель, архитектор или инженер-консультант могут доверить производство железобетонных работ таким предпринимателям, которые имеют достаточные знания и опыт в строительстве и гарантируют качественную и добросовестную работу. Так как DIN 1045 во всех контрактах на производство строительных работ является составной частью договора, то их соблюдение обязательно для обеих договаривающихся сторон. Недостаточно квалифицированный персонал при укладке арматуры и бетона может допустить брак в работе.

4.2. ДОПУСТИМЫЕ ПАРАМЕТРЫ, УСТАНОВЛИВАЕМЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫМИ НОРМАМИ И ПРАВИЛАМИ

В строительном законодательстве оговорено, что основой для производства всех строительных работ являются технически обоснованные строительные правила и нормы. Однако при соблюдении этих норм и правил нельзя рассчитывать на достаточную в течение всего срока эксплуатации надежность строительного сооружения при всех внешних воздействиях на него, так как технические нормы основаны на сегодняшнем уровне науки и техники.

Нормы постоянно совершенствуются и корректируются. Переиздание строительных нормативных документов занимает определенное время, и этим обусловлено некоторое их отставание от новейших достижений. Компетентные

специалисты обязаны периодически разрабатывать дополнительные мероприятия, направленные на исправление такого положения, так как они располагают новейшими данными, обобщенными результатами исследований, выводами и заключениями по проблеме разрушения строительных конструкций. Необходимо иметь в виду, что строительные требования и технические нормы устанавливают средние отклонения, выход за рамки которых может быть допущен в исключительных случаях. Задача проектировщиков и инженеров-строителей заключается в том, чтобы при соблюдении установленных в нормативах допустимых наименьших размеров несущих конструкций производить строительные работы в соответствии с конкретными условиями для каждого случая.

По статистике около 80 % случаев выхода из строя железобетонных конструкций являются следствием некачественного проведения проектных и строительных работ, т. е. в 80 % отказ конструкции обусловлен несоответствием ее требованиям, закрепленным в DIN 1045.

Правда, в большинстве случаев проектировщики и строители придерживались минимальных значений параметров, допускаемых в нормах, однако они не учитывали специфические особенности каждого конкретного строительного объекта. Так, например, DIN 1045 не ограничивают увеличения защитного слоя бетонного покрытия и не запрещают

увеличивать расстояния между арматурными деталями. Они лишь устанавливают минимально возможные размеры и предоставляют инженерам право решать вопрос о фактических размерах в соответствии с требованиями конкретного строительства. Действующие нормы следует применять творчески и в соответствии с конкретными требованиями.

4.3. СТРОИТЕЛЬСТВО ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА — КОЛЛЕКТИВНАЯ РАБОТА

Одной из основных причин выхода из строя железобетонных строительных сооружений является то обстоятельство, что по крайней мере три специалиста с различных позиций и

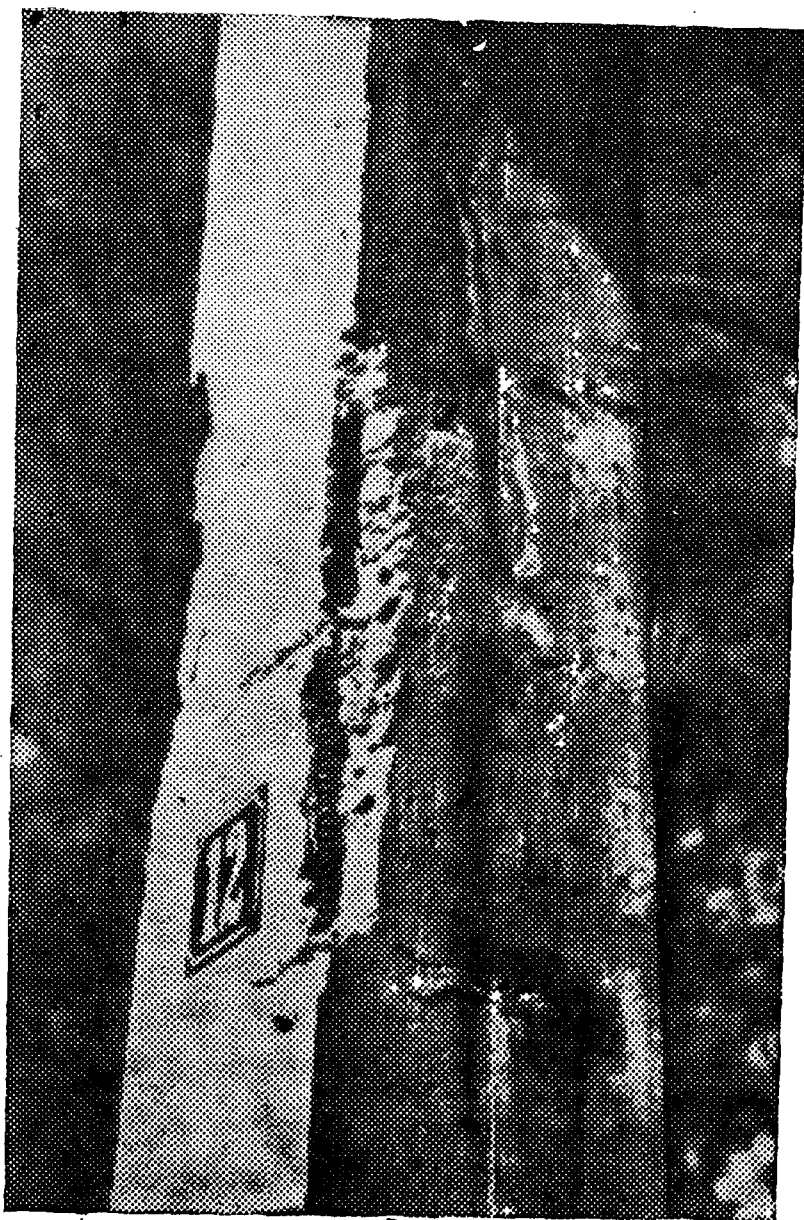


Рис. 9. Медленно протекающий со стороны внешней поверхности коррозионный процесс угрожает надежности конструкции

с различными намерениями проектируют и воплощают в чертежах конструкции строительных сооружений. Это, прежде всего, архитектор, который скорее является художником, чем инженером. Он должен спроектировать здание, предназначенное для вполне определенных целей, отвечающее эстетическим требованиям и, в идеальном случае, не нарушающее уже сложившийся архитектурный стиль района города. То обстоятельство, что железобетону можно придать любую форму, предоставляет архитекторам широкие возможности воплотить в жизнь свои замыслы. При этом часто не учитывают тот факт, что только в строгом соответствии с правилами конструирования железобетон может быть воплощен в строительную конструкцию и будет сочетаться с другими строительными элементами.

Следующий специалист рассчитывает конструкции на основе расчетных усилий и допустимых напряжений в материале; при этом конструкция должна удовлетворять требованиям несущей способности независимо от архитектурного решения.

При необходимости размеры строительной конструкции изменяют в большинстве случаев в разрез с решениями архитектора. Созданные на

основе статических расчетов арматурные чертежи и чертежи опалубки реализовывают технологи в руководствах по производству бетонных работ уже непосредственно на строительных площадках. Они должны создать такой бетон, который бы воплощал в жизнь замысел архитектора и решение инженера. При этом внешняя поверхность конструкции должна быть гладкой, а имеющаяся арматура надежно защищена от коррозии в течение длительного срока службы.

На практике при проектировании строительных конструкций существует три совершенно различные точки зрения на то, что является самым главным при создании железобетонного сооружения. Каждый специалист работает в своей области, каждый выдвигает свои требования, которые считает более важными, чем требования других специалистов, участвующий на той или иной стадии разработки проекта. И то, что получается в результате этого зачастую несогласованного «коллективного труда», бригадир на строительной площадке должен осуществить на практике. Что может получиться в итоге, должны себе ясно представлять эксперты и судьи, которым в дальнейшем придется выяснять причины выхода из строя бетонных сооружений.

5. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ БЕТОНА

5.1. РЕГУЛЯРНЫЙ КОНТРОЛЬ — ТРЕБОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРАВИЛ

Согласно федеральным строительным правилам, строительные сооружения следует возводить и содержать так, чтобы жизнь и здоровье людей при эксплуатации этих сооружений не подвергались опасности.

Первая часть этого требования — возведение строительных объектов с гарантированной надежностью — обеспечивается соблюдением технических норм и системой контроля качества. После завершения строительства объект передается для последующей эксплуатации владельцу, который отвечает за соблюдение второй части требования, т. е. за содержание объекта в надлежащем порядке. Несмотря на положения строительного законодательства владельцы сооружений часто не имеют профессиональной подготовки и не могут обеспечить правильную эксплуатацию объекта.

Проблеме содержания железобетонных сооружений и проведения дополнительных контрольных испытаний в процессе эксплуатации объекта в течение последних лет не уделялось достаточного внимания. Опыт показывает, что в том случае, если бетон изготавливается без должного технического контроля, даже откорректированные строительные нормы и надлежащий конт-

роль за производством работ не помогут исключить дефекты в процессе строительства. В будущем число строительных погрешностей, без сомнения, будет снижаться благодаря ужесточению строительных норм, но эта проблема все же останется для множества уже существующих железобетонных сооружений. Своевременное обнаружение и устранение слабых мест в процессе строительства из железобетона будет хорошей предпосылкой к тому, чтобы этот способ строительства занял в будущем достойное место.

Для этого необходимо тщательно учитывать производственные затраты, связанные с проведением дополнительных испытаний и технического контроля вновь возводимых объектов, и средства, которые из-за старения существующего строительного фонда придется израсходовать на производство контрольных обследований и испытаний существующих железобетонных конструкций, находящихся в условиях все возрастающего пагубного воздействия окружающей среды.

Регулярный контроль за содержанием здания в образцовом порядке обуславливает дополнительные, в большинстве случаев не предусмотренные сметой сооружения затраты. Поэтому сооружение следует рассматривать не только с точки зрения производства строительных работ, но и с позиций его будущей эксплуатации. Содержание нового

строительного объекта с наименьшими затратами должно быть критерием экономичности проекта.

Решающее влияние на затраты, необходимые для содержания и эксплуатации зданий и сооружений, должны оказывать доступность и ремонтоспособность слабых мест строения. Это должно предусматриваться и при разработке проекта.

Исходя из требований строительных норм по содержанию сооружений можно сделать вывод, что недостаточно возводить железобетонные конструкции, ориентируясь на удовлетворительную на сегодняшний день надежность. Надежность строительного сооружения зависит от соответствующего надзора и проведе-

ния контрольных обследований через определенные промежутки времени в течение всего срока его эксплуатации. Подобные контрольные испытания уже давно стали привычными для силовых установок и котлов высокого давления. Аналогичные периодические испытания обычны и для некоторых строительных сооружений. Так, служба пути регулярно проверяет мосты. Результаты этих проверок регистрируются в специальных журналах. Министерство путей сообщения с давних пор проводит аналогичный контроль состояния мостовых и тоннельных сооружений. Даже в жилищном строительстве регулярно контролируются показатели воздушного выброса отопительных устройств, а обна-

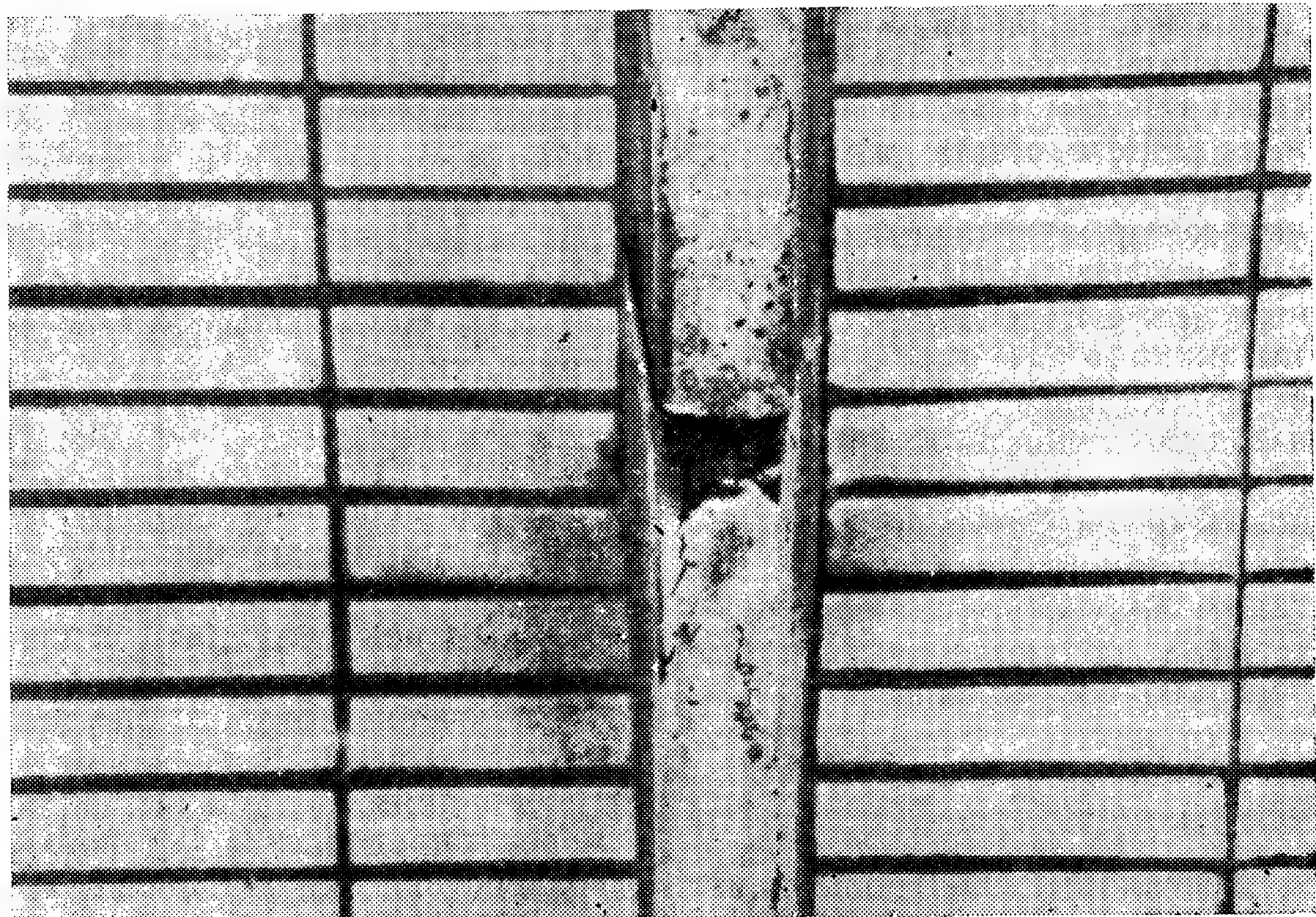


Рис. 10. Типичные уязвимые места конструкции: технологические швы

руженные недостатки немедленно устраняются. Поэтому нет необходимости создавать такие контрольные службы для несущих конструкций строительных сооружений — они уже существуют.

Было бы лучше, если бы инженеры, проверяющие надежность конструкции на стадии проектирования, могли также контролировать состояние сооружения в процессе его эксплуатации и проверять, соответствует ли оно требованиям надежности, заложенной в проекте. К этой работе следовало бы привлекать специалистов по материалам, строительной физике, экспертов по строительным грунтам и т. п. Ответственность за проведение проверочных испытаний и за разрешение дальнейшей эксплуатации здания возлагается на проектировщиков. При этом не следует проверять всю конструкцию в целом, так как специалистам известны типичные слабые места железобетонных конструкций и признаки, которые указывают на имеющиеся внутри строительных деталей дефекты (трещины, ржавые пятна и т. п.). Объем контрольных обследований и периодичность их проведения должны соответствовать возрасту и степени износа строительного сооружения, а также виду строительного материала и конструктивному решению сооружения.

5.2. ЦЕЛЬ КОНТРОЛЬНЫХ ОБСЛЕДОВАНИЙ

Регулярный контроль критических мест железобетонных конструкций является важней-

шим аспектом теории надежности. Бездефектное сооружение объектов при массовой застройке вряд ли возможно, поэтому приходится мириться с определенным риском, обусловленным экономическими соображениями. Коэффициенты запаса прочности при определении параметров железобетонных конструкций принимают с учетом того, что даже при ошибочном исполнении строительных работ опасность внезапного выхода из строя какой-либо части сооружения практически равна нулю. Тяжелые строительные повреждения возникают, как правило, из-за случайных сочетаний нескольких неблагоприятных факторов. Некоторые из них можно выявить во время осмотра до наступления критической ситуации. Так, разрушение конструкции, как правило, проявляется в виде значительных деформаций или образования трещин. Катастрофические разрушения в большинстве случаев можно было бы предвидеть и исключить, если бы специалисты своевременно обнаружили угрожающие признаки.

Проводя регулярные обследования, можно обнаружить также и небольшие разрушения, например начинающуюся с внешних поверхностей коррозию. Срок службы строительного объекта, т. е. период, в течение которого он удовлетворяет всем предъявляемым требованиям, в значительной мере определяется степенью воздействия окружающей среды. Число строительных сооружений, фактический срок

эксплуатации которых превышает предусмотренный проектом, постоянно возрастает. Однако критическая ситуация все-таки может возникнуть прежде всего при изменении воздействия окружающей среды в худшую сторону. Следовательно, строительные сооружения, рассчитанные на благоприятные условия окружающей среды, должны быть соответствующим образом переосвидетельствованы.

5.3. ОБЪЕМ КОНТРОЛЬНЫХ ОБСЛЕДОВАНИЙ

За исключением мостовых сооружений, контролируемых, согласно DIN 1076 «Инженерные сооружения, находящиеся в черте улиц и дорог; надзор и испытания», даже ответственные железобетонные объекты контролируются нерегулярно.

Нетипичные несущие конструкции строительных сооружений, конструкции, которые находятся в особых условиях из-за значительных нагрузок, а также сооружения, выход которых из строя может привести к тяжелым последствиям, нуждаются в строгом контроле через определенные периоды времени.

По оценке специалистов, особенно часто выходят из строя следующие группы строительных объектов.

1. Строительные сооружения, частично разрушенные во время войны и восстановленные в послевоенные годы с помощью подручных средств из-за острого дефицита строительных материалов.

2. Объекты, предназначенные для проведения массовых мероприятий (конференц-залы, школы и т. д.). Требования к надежности объектов, разрушение которых может привести к гибели людей, должны быть значительно повышены. Об этом свидетельствуют многие трагические случаи, например обрушение зала Конгрессов в Берлине.

3. Строительные объекты, сооруженные из материалов с невысокой прочностью. В качестве примера можно назвать широко применявшийся после войны бетон с использованием щебня от разрушенных сооружений и армокаменные перекрытия, которые в течение долгого времени подвергались воздействию влаги.

4. Облицованные фасады железобетонных сооружений, как правило, меньше страдают от атмосферных осадков, чем открытые железобетонные поверхности. Однако облицовка с навесными элементами фасадов не обеспечивает защиту железобетонных поверхностей от карбонизации, а также от коррозии стальной арматуры, так как климат ФРГ отличается повышенной влажностью в течение большей части года.

При недостаточном защитном слое и наличии раковин и пустот в бетоне процесс коррозии под облицовкой протекает незаметно и снижает не только надежность конструкции, но и несущую способность анкерных элементов облицовки.

5. Строительные сооружения, подверженные сильному воздействию химически агрес-

сивных сред, такие как мосты, очистные сооружения, канализационные коллекторы и т. д. При этом особо сильным разрушениям подвержены тонкие и расположенные глубоко внутри конструкций арматурные сетки, так как в данном случае прогрессирующий процесс разрушения арматуры нельзя обнаружить из-за имеющегося слоя бетона.

6. В случае выхода из строя различных статических систем степень риска учитывается специальными коэффициентами безопасности. И все же статически определимые системы, конструктивные элементы которых в известной мере могут перемещаться (благодаря этому температурные и силовые деформации не приводят к образованию дефектов), легче разрушаются, чем статически неопределимые.

Это означает, что в конструктивных элементах статически неопределимой системы внезапное разрушение наступает не сразу несмотря на образование больших трещин и местных повреждений.

7. Железобетонные конструкции с предварительно напряженной арматурой. Ошибки, допущенные в начальной стадии применения предварительно напряженного железобетона для крупных строительных конструкций, были вызваны не только тем, что не учитывались дополнительные напряжения, но и тем, что сталь для предварительно напряженной арматуры считали способной выдержать очень высокие нагрузки в течение длительного времени. Позже многому научились, и при сооружении новых строительных конструкций стремились не повторять

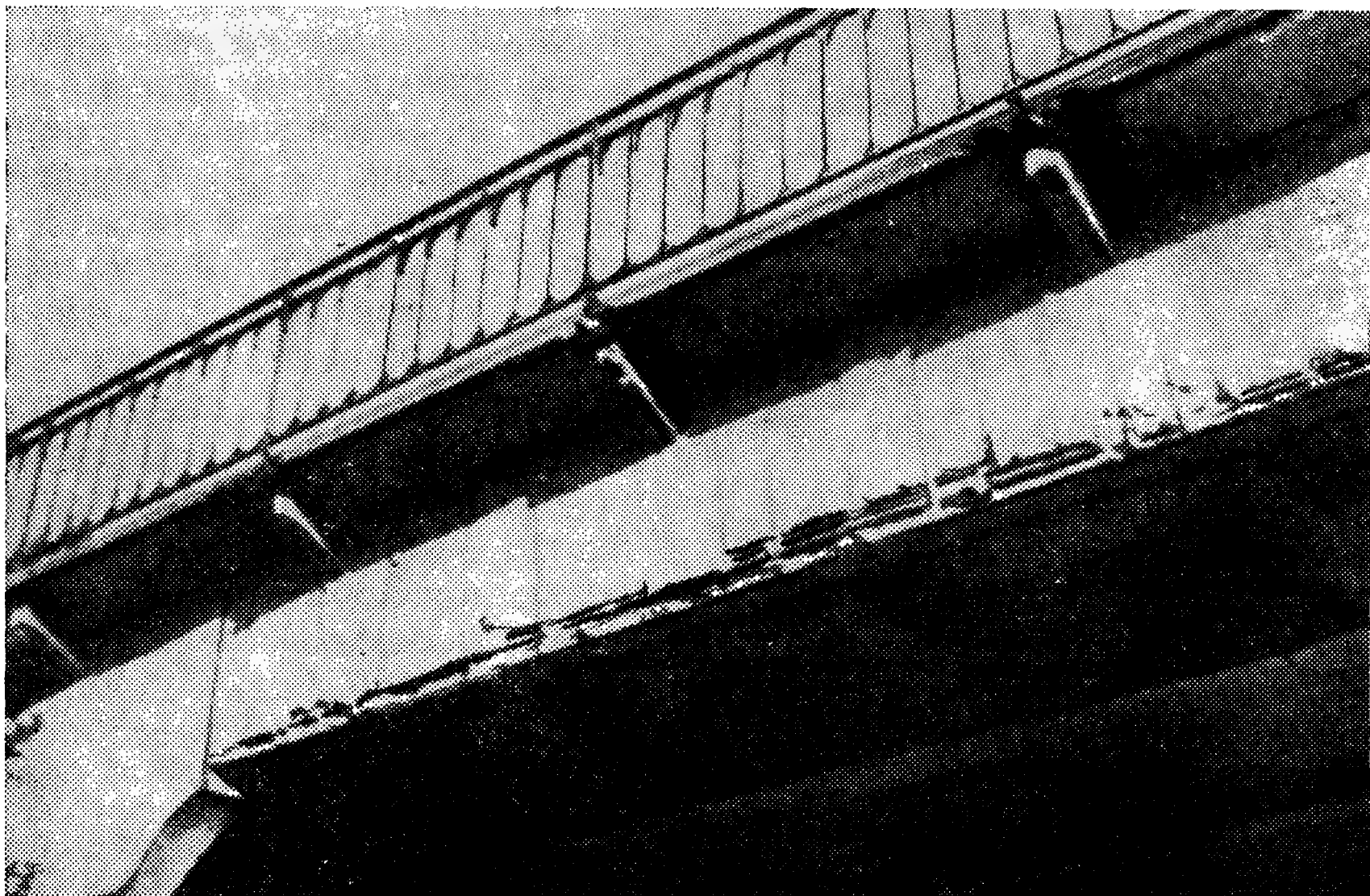


Рис. 11. Коррозионные повреждения в нижней части железобетонного моста

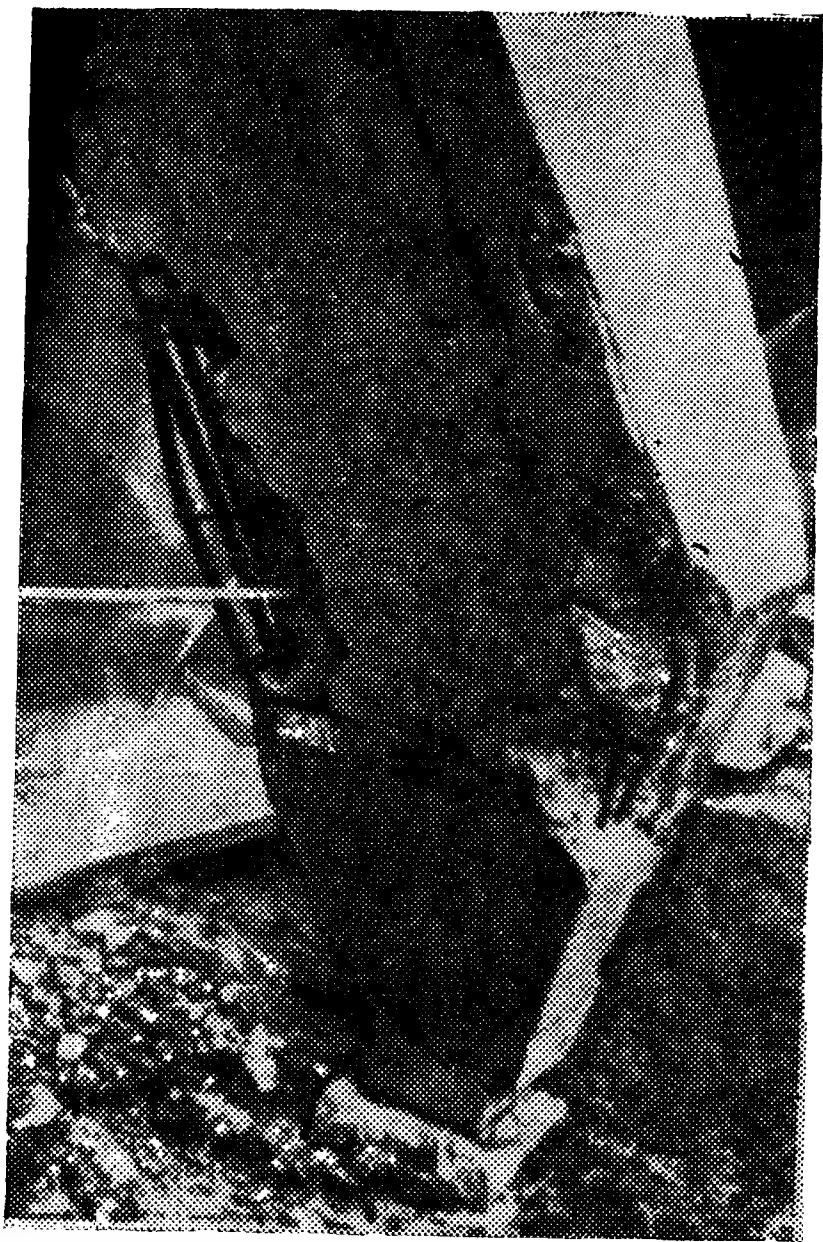


Рис. 12. Участки бетона, под которым началась коррозия арматуры, должны быть удалены

этих ошибок, однако старые постройки, возведенные с применением предварительно напряженного железобетона, следует регулярно обследовать.

Во время обследований определяют надежность (проверяют, соответствует ли строительное сооружение действующим нагрузкам) и общее состояние сооружения (наличие мест отслоения и отпадания бетонных слоев, ржавых пятен и подтеков, трещин бетонного слоя и т. п.). Проводимые обследования не обязательно должны соответствовать всей программе норм (например, DIN 1076), объем проверки определяют исходя из состояния сооружения.

Проведение испытаний должно происходить при на-

личии специального строительного акта, составленного еще при возведении нового сооружения, или, самое позднее, при первом его освидетельствовании.

В строительный акт включаются следующие документы:

исполнительные (акты на производство работ, возведение опалубки, арматурные чертежи и т. д.);

свидетельство о несущей способности;

паспорт качества строительных материалов;

акт о приемке сооружения с указанием замеченных дефектов;

документы о последующей реконструкции или проведении защитных мероприятий;

протокол ранее проведенных обследований.

Все крупные строительные элементы подвергают визуальному контролю с целью обнаружения трещин, деформаций, отслоения бетонного покрытия и наличия ржавых пятен. Места с коррозионными образованиями вскрывают, устанавливают степень коррозии арматуры. При сильной коррозии измеряют ее глубину. Если конструкция (например, мост) находилась под воздействием средств, противостоящих обследованию, то измеряют содержание хлорида в бетоне. Фиксируют трещины для учета возможного дальнейшего распространения (с помощью гипсовых марок). Следует также выявить причины образования трещин — обусловлено ли их образование постоянно действующими воздействиями (нагрузки, температура и т. п.)

или же они являются результатом одноразового воздействия внешних сил (при твердении, от усадки, пожара и т. п.).

Оптимальным вариантом проверки для особо важных групп объектов считают проведение обследований независимой организацией (например, комитетом по стандартизации).

Участие в обследованиях отраслевых научно-исследовательских институтов. Если владелец сооружения не обладает

достаточными профессиональными знаниями и не может самостоятельно содержать строительное сооружение так, чтобы исключить всякую опасность для жизни и здоровья находящихся там людей, он обязан привлекать к этому специалистов. По-видимому, в будущем обязанности по надзору за существующими строительными сооружениями будут возложены на специализированные институты или организации.

6. АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

6.1. ПРИЧИНЫ ПОВРЕЖДЕНИЯ

Устранение каждого строительного повреждения предполагает тщательный анализ причин выхода конструкции из строя, иначе спустя некоторое время могут возникнуть более крупные повреждения. Подобный анализ позволит определить слабые места конструкции; его данные могут быть использованы в будущем для создания конструкций и сооружений, удовлетворяющих нормам строительства и соответствующих условиям изменяющихся технологических факторов и окружающей среды. Восстановление вышедших из строя частей строительной конструкции также должно обеспечивать надежность всего объекта.

В настоящее время имеются отдельные публикации о причинах, обуславливающих выход из строя различных железобетонных сооружений, которых, безусловно, недостаточ-

но. Данные, приводимые в этих публикациях, следует применять в повседневной строительной практике. Например, в DIN 1045 говорится о защите бетонных строительных элементов от агрессивных по отношению к бетону вод или почв, но о том, что разрушение бетона происходит благодаря воздействию на него находящихся в атмосфере газообразных вредных примесей, не упоминается. Естественно, в атмосфере практически не встречаются агрессивные среды высокой концентрации, непосредственно воздействующие на бетон и сталь. Но в результате неблагоприятных внешних воздействий может возникнуть такое положение, что даже при относительно незначительном содержании агрессивных газов в воздухе уже через несколько лет физико-химические процессы в верхних слоях бетонного покрытия приведут к образованию концентрации агрессивных сред, воздействую-

щих на бетон и сталь и, следовательно, к коррозии. Это одна из наиболее часто встречающихся причин разрушения бетона, которая не предусмотрена нашими нормами.

Следующий пример недостаточного качественного анализа причин выхода из строя бетонных конструкций — разрушения, вызванные применением на проезжей части бетонных мостов средств, предотвращающих обледенение.

Правда, имеются исследования в области разрушений бетона, вызванных воздействием отрицательных температур и средств, предотвращающих обледенение, а также рекомендации по устранению подобных разрушений. Исследования о влиянии этих факторов на арматурные стали и в особенности стали предварительно напряженных железобетонных конструкций, публикуются редко. В то же время средства, предотвращающие

обледенение бетонных сооружений мостов, которые каждую зиму в течение более 15 раз подвергаются воздействию концентрированного раствора хлорида натрия, прежде всего разрушают арматурную сталь и в гораздо меньшей степени бетон. Существенно то обстоятельство, что коррозия бетона проявляется на внешней поверхности, и поэтому повреждения бетона относительно рано распознаются и легко устраняются. Процесс коррозии арматуры протекает внутри бетона и к моменту его обнаружения нередко вызывает тяжелые разрушения и ставит под угрозу надежность конструкции.

В настоящее время затраты на устранение повреждений мостовых конструкций от воздействий средств, предотвращающих обледенение, составляют более 80 % из-за коррозии стали и лишь около 20 % из-за бетона. Затраты на исследования и информацию о

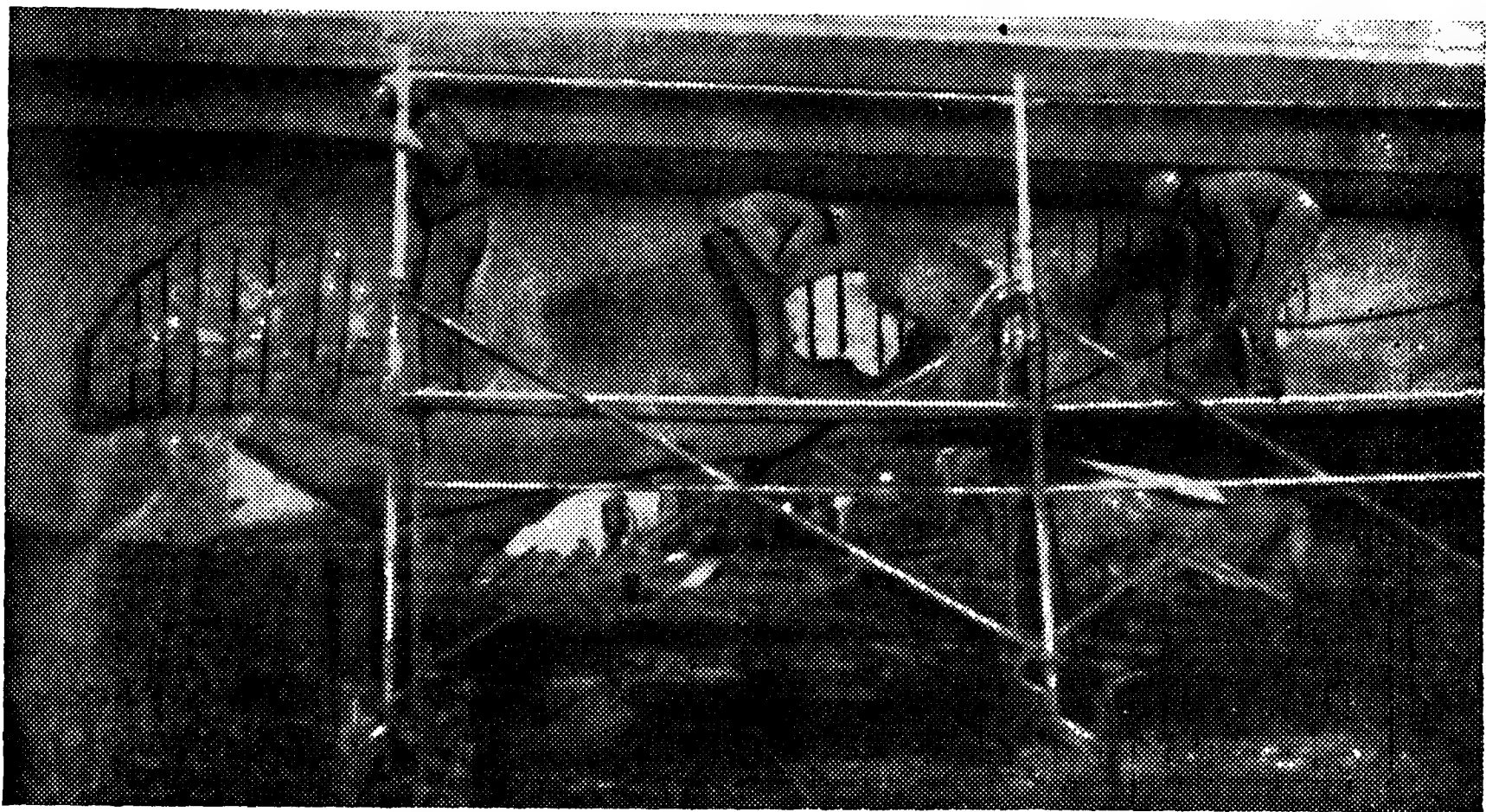


Рис. 13. Средства, предотвращающие обледенение, опасны для арматуры

повреждениях, вызванных воздействием отрицательных температур и средств, предотвращающих обледенение на арматуру и бетон, находятся в обратном отношении. Анализ причин повреждений и разработка принципов восстановления бетонных конструкций требуют специальных и довольно глубоких знаний в области строительной химии и физики, так как повреждения в большинстве случаев обусловлены протекающими в железобетоне физико-химическими процессами, а также конструктивными причинами. Поэтому при проведении восстановительных работ при сильных разрушениях речь идет всегда о конструктивных мероприятиях. Требованиями, которые должны выполняться при восстановлении бетонных конструкций, являются: восстановление несущей способности конструкции при соблюдении резерва надежности, определенного нашими строительными нормами и правилами, и гарантированная защита конструкции от новых повреждений.

Инженеры, занимающиеся анализом причин разрушений и в дальнейшем составляющие проект производства восстановительных работ, должны знать не только строительную химию и физику, но и основные положения расчета и конструирования и технологию производства строительных работ. Такие специальные знания имеют лишь специалисты в фирмах, специализирующихся в течение многих лет в области производства восстановительных работ.

6.2. СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ДАННЫХ О СТРОИТЕЛЬНОМ ОБЪЕКТЕ

Информация, необходимая для анализа причин выхода из строя железобетонных конструкций, начинается со сбора данных о размерах конструкций и о прочности материала, что предшествует разработке проекта реконструкции. Если целесообразно проводить реконструкцию сооружения, этих данных для разработки проекта восстановления недостаточно, так как при этом следует основываться на действующих строительных нормах, т. е. обеспечивать необходимые резервы надежности. Но это означает, что для оценки надежности или же для разработки мероприятий по усилению сооружения достаточно теоретических расчетов по нормам на основании первоначальной статической схемы сооружения.

Часто складывается такая ситуация, что нужно произвести работы по усилению конструкции, для которой значительно ухудшились эксплуатационные факторы по сравнению с первоначально принятыми в технической документации. Как правило, фактические параметры бетонного сооружения, такие, как прочность бетона, расположение арматурных стержней, нагрузки, размеры пролета в поперечном сечении конструкции и т. п., имеют значительные отклонения от заложенных первоначально в проекте. Исходя из этого в большинстве случаев необходимо разрабатывать мероприятия по повышению надежности

существующих железобетонных конструкций на основе обследований конструктивных элементов, вызывающих сомнение. Результаты этих обследований, а также соответствующие требования строительных норм должны стать основой проекта реконструкции.

6.3. СБОР ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА

Если отсутствуют результаты статических расчетов обследуемой конструкции, то для определения действительного состояния объекта необходимо иметь все технические параметры (статическая схема, нагрузки, размеры сечений несущих конструкций, армирование и т. д.). Но если все же имеются расчеты сооружения, то следует сконцентрировать внимание на фактах, которые свидетельствуют об отклонениях от проекта. При выборе участков контрольных замеров можно ограничиться местами, находящимися под наибольшим воздействием нагрузок.

Если обследование даст удовлетворительные результаты, то нет необходимости проверять конструкции в целом при условии, что не возникает сомнений относительно других мест, где могут иметься повреждения. Если размеры сечений соответствуют проектным данным, то нагрузку от собственной массы конструкции принимают по проектным данным.

При определении полезных нагрузок в большинстве слу-

чаев можно ограничиться проверкой, совпадают ли фактические и принятые в проекте нагрузки. После определения размеров поперечных сечений и нагрузок, необходимо определить действительные свойства материалов и в первую очередь их фактическую прочность.

6.3.1. Определение прочности бетона. Заложенная в проекте марка бетона является контрольной величиной, которая на практике может отклоняться в любую сторону. Фактическую прочность бетона можно определить путем вырезания достаточного числа проб в местах, испытывающих наибольшее напряжение. В случае, если трудно взять пробы кернением, например при очень плотном армировании или если имеется опасность значительного ослабления наиболее напряженных мест, можно провести испытание без разрушений бетона с помощью эталонного молотка или же по отскоку шарика. Оба этих метода испытания заложены в DIN 1048. Преимущества этих способов заключаются в том, что имеется возможность провести их с незначительными затратами и во многих местах. Недостатком является необходимость в получении тарированной зависимости, которую в каждом случае получают по испытанию проб бетона, изымаемых из строительного объекта. При испытании бетона, имеющего повреждения от пожара, следует также помнить, что снижение прочности, как правило, происходит на внешнем слое. В этом случае по-

верхностные методы обычно дают заниженные результаты.

6.3.2. Карбонизация бетона. Глубина карбонизации бетона определяется нанесением фенофталеинового раствора на свежий скол бетона. Область, в которой имеется значение $pH=8,3$, обеспечивает защиту стали от коррозии и окрашивается в красный цвет; если бетон остается неокрашенным, то, следовательно, в этой области произошла его карбонизация и создается реальная опасность коррозии стали.

6.3.3. Поражение хлоридами. Хлориды, проникшие в бетон из растворов, предотвращающих обледенение, или же при сгорании во время пожаров поливинилхлоридных материалов, нарушают коррозионную защиту стали, разрушая окружающий ее щелочной цементный слой, что может быть выявлено методами индикации как и при обнаружении карбонизации. На свежий скол наружной поверхности бетона наносятся 1 %-ный раствор нитрата серебра, а затем 5 %-ный раствор калиево-хромовой кислоты. Области, содержащие хлориды, окрашиваются в желтый цвет, а области, не содержащие их, — в коричневый. Допустимое содержание хлоридов в бетоне составляет примерно 0,4 % его массы. При положительной реакции действительное содержание хлоридов определяется лабораторным путем по взятым контрольным пробам.

6.3.4. Прочие агрессивные химические вещества. Если возникает подозрение о наличии в бетоне химических веществ,

которые могут отрицательно воздействовать на долговечность стали или бетона, то берут пробы бетона для лабораторного исследования.

6.3.5. Проведение исследований с помощью ультразвука. Измеряя время прохождения ультразвуковых волн через строительный элемент, можно получить данные о неравномерной плотности бетона, особенно о скрытых под наружным слоем пустотах, неплотных участках и т. п.

6.3.6. Исследование с помощью рентгеновских или гамма-лучей. Плотность и однородность бетона определяются по такому же принципу, как и при использовании ультразвука, но с помощью рентгеновских или гамма-лучей. Аналогичным образом определяется содержание арматурной стали. Проведение подобных исследований требует немалых затрат. Эти методы в ряде случаев трудно применимы, а область их действия ограничена. Определять фактическую прочность бетона с помощью рентгеновских или гамма-лучей целесообразно лишь при высоких напряжениях в строительных элементах, если имеется подозрение о наличии внутренних повреждений, еще не видимых извне, которые могут привести к крупным разрушениям, а также для подтверждения результатов, полученных другими методами.

6.3.7. Качество арматурных стале. Единственной возможностью определения механических характеристик арматурных стале, особенно после пожаров, является отбор не-

больших образцов арматурных стержней и испытание их в лабораторных условиях. Естественно, эти образцы следует отбирать по возможности в тех местах, где обусловленное этим уменьшение поперечного сечения арматуры не приведет к ослаблению конструкции.

6.3.8. Расположение арматурных стержней и защитного слоя бетона. Расположение арматурных стержней при соответствующем их диаметре может быть определено с помощью электромагнитного прибора. Этот прибор определяет положение арматуры и расстояние до нее от поверхности бетона. При недостаточном защитном слое бетона можно использовать сильный магнит, чтобы установить расположение арматуры и затем выявить места с недостаточным бетонным покрытием.

6.3.9. Заполнения каналов для напрягаемой арматуры. Сильное повреждение напряженных арматурных пучков в недостаточно заполненных цементным раствором каналах требует в большинстве случаев дополнительной проверки состояния этих каналов. Простым методом такой проверки является следующий: осторожное высверливание стенок каналов и введение через них оптического прибора. С помощью этого прибора можно определить положение и размеры пустот, а также состояние арматуры. Начинать обследование следует с наиболее уязвимых мест, таких, как изгибы и места стыков арматуры, расширения каналов и т. д. В открытых каналах пу-

стоты можно обнаружить с помощью нагнетания воды или воздуха. Другим, более дорогостоящим, но иногда применяемым методом является просвечивание конструкции рентгеновскими лучами. Часто оба этих метода применяются совместно.

6.3.10. Коррозия арматурной стали. Своевременное обнаружение мест коррозии стальной арматуры (особенно в каналах) может осуществляться с помощью измерения разности потенциалов. Этот метод измерения в течение нескольких лет успешно применяется в США для обнаружения мест активного корродирования арматуры, особенно при обследовании мостовых сооружений. При этом наружная поверхность бетонного со-

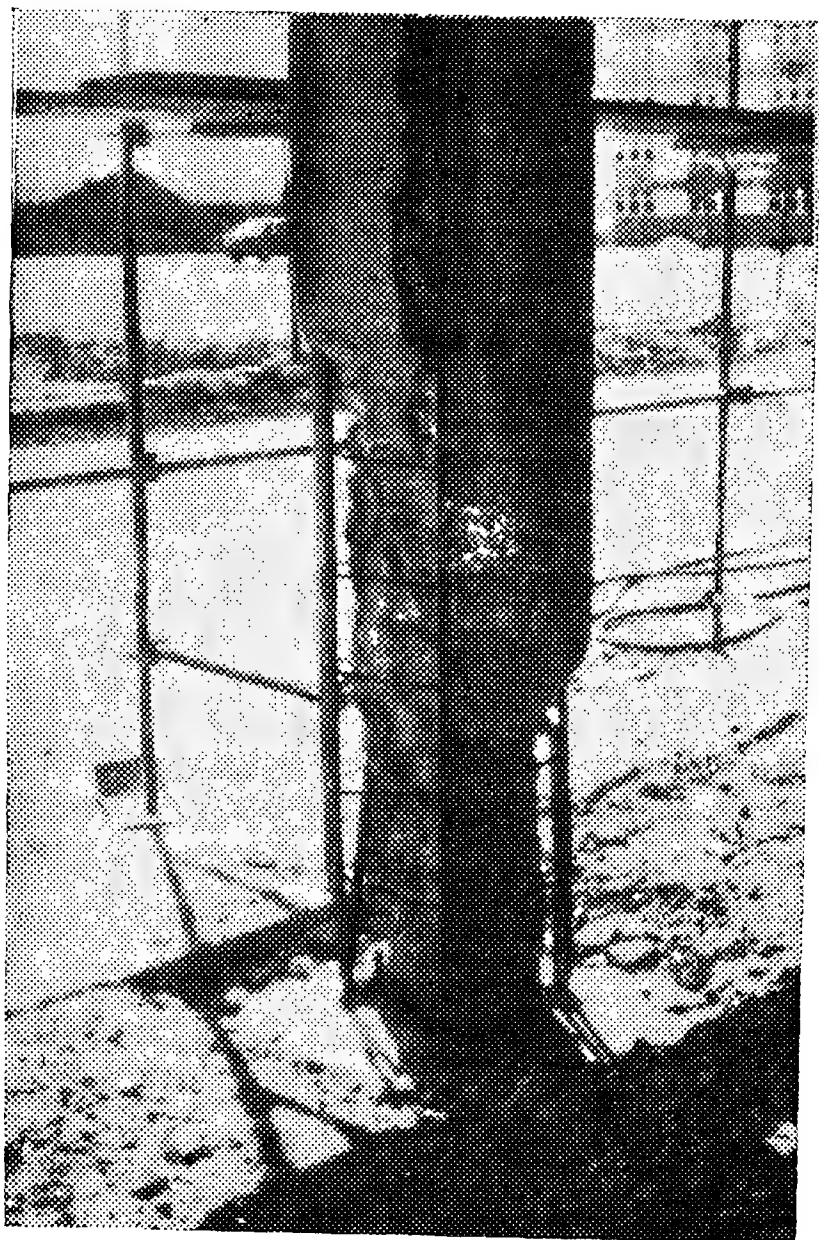


Рис. 14. Уменьшение размеров сечения в результате коррозии

оружения обследуется с помощью эталонного электрода, разность потенциалов измеряется между арматурными стержнями, используемыми как измерительный электрод, и располагаемым над поверхностью бетона эталонным электродом. Контакт с арматурой осуществляется при помощи клемм, закрепляемых на оголенных и зачищенных участках арматуры. Перед началом измерений внешнюю поверхность бетона следует тщательно высушить, чтобы избежать сильных колебаний показаний прибора из-за неравномерной влажности бетона. В качестве измерительного прибора применяется малогабаритный милливольтметр на батарейном питании.

6.3.11. Изменение действующих нагрузок и размеров поперечных сечений. При производстве обследований сооружения может оказаться, что первоначально рассчитанная несущая способность конструкции не обеспечивается. Это можно объяснить изменившимися условиями эксплуатации, а также нагрузками, не предусмотренными ранее. В большинстве случаев нет необходимости повторного определения размеров поперечных сечений для установления соответствия их принятым в проекте. Как правило, можно исходить из условия, что заложенные в проекте размеры поперечных сечений сооружения соблюдены полностью. Но может случиться так, что за время эксплуатации сооружения произошло ослабление поперечного сечения в результате обра-

зования трещин, коррозии и т. д., которое при определении надежности конструкции должно быть учтено. Благодаря образованию трещин может произойти искривление формы конструкции и, следовательно, изменение распределения нагрузок или изменение статической схемы.

6.4. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОВЕДЕННЫХ ОБСЛЕДОВАНИЙ

Если имеются результаты проведенных обследований, фактическая прочность материалов, существующие поперечные сечения и максимальные нагрузки, то конструкции могут быть приведены к такому состоянию, которое обеспечит надежность, оговоренную в DIN 1045. Если при этом в отдельных местах обнаружатся напряжения в материалах, превышающие допустимые, то в этих точках надо усилить или уменьшить нагрузки, действующие на конструкцию. Часто оказывается, что еще имеется достаточный резерв несущей способности. Это объясняется меньшей величиной фактических нагрузок, высокой прочностью материалов или возможностью применения более высоких допускаемых напряжений, обусловленных новыми методами контроля качества материалов. В таких случаях возможно несмотря на встречающиеся уменьшения поперечного сечения ограничиться предупредительными защитными мероприятиями, оставляя без изменения ослабленные поперечные сечения.

7. ТИПИЧНЫЕ ПРИЧИНЫ ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Железобетонные конструкции, как и все строительные сооружения, подвержены самым разнообразным воздействиям. Мы попытаемся назвать наиболее часто встречающиеся из них, которые часто лишь во взаимосвязи с дефектами, обусловленными проектированием или производством строительных работ, могут привести к повреждениям сооружений.

Изготовленный с соблюдением всех требований железобетон в нормальных условиях эксплуатации может долгое время противостоять климатическим воздействиям. Отрицательное влияние атмосферных условий сказывается лишь на тех конструкциях, которые имеют дефекты, а также на тех, срок службы и нагрузки которых значительно превзошли расчетные. Сегодняшние исследования причин повреждений свидетельствуют о том, что нет необходимости создавать универсальное защитное покрытие для железобетонных сооружений, подвергаемых атмосферным воздействиям.

Проведенная корректировка норм по железобетонным конструкциям, направленная главным образом на увеличение срока действия коррозионной защиты арматуры бетоном, гарантирует стойкость сооружения к атмосферно-климатическим воздействиям без дополнительного защитного покрытия в том случае, если бетонные работы были выполнены качественно.

7.1. КОРРОЗИЯ АРМАТУРНОЙ СТАЛИ

7.1.1. Карбонизация. Превращение составных компонентов (заполнители, цемент, вода) в высокопрочный материал — бетон происходит в результате химических реакций в течение первых дней после изготовления бетона. Испытания, проведенные спустя четыре дня после изготовления, показывают, что в общем объеме бетон уже затвердел и лишь незначительная часть его в дальнейшем участвует в реакциях, способствующих повышению прочности материала.

Затвердевший бетон состоит из различных заполнителей, связанных между собой цементной массой. Цементный камень, в свою очередь, содержит различные химические вещества, которые в определенных случаях могут образовывать новые соединения. Эти соединения с течением времени могут ухудшать первоначальные качества бетона.

Процесс, из-за которого снижаются защитные свойства бетона (его способность в течение длительного времени предохранять от коррозии уложенную в него арматурную сталь), называется карбонизацией.

Защита от коррозии арматурной стали, расположенной в бетоне, осуществляется благодаря тонкой защитной пленке, которая образуется в результате реакции стали с содержащимися в бетонной мас-

се щелочными растворами (гидроокиси кальция). При схватывании цементной массы и превращении ее в бетон, около 25 % цемента переходит в гидроокись кальция (CaOH), которая, растворяясь, оседает в поровых водах. Образование гидроокиси кальция является важнейшей предпосылкой применения железобетона при изготовлении долговечных несущих конструкций, так как только наличие свободной гидроокиси кальция в бетоне обеспечивает достаточную защиту от коррозии арматуры.

В результате реакции углекислого газа (CO_2), имеющегося в воздухе, с гидроокисью кальция запас последней с течением времени истощается. Этот процесс (карбонизация) распространяется постепенно с внешней поверхности в глубь бетонного слоя. В карбонизированном бетоне коррозионная защита перестает действовать как только фронт карбонизации достигает арматурной стали.

Плотность бетона играет определенную роль, поскольку она влияет на скорость протекания процесса карбонизации, так как реакция между $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и CO_2 происходит тем быстрее, чем меньше сопротивление бетона прониканию углекислого газа. Темпы карбонизации зависят не только от диффузионной сопротивляемости бетона прониканию углекислого газа, но и от содержания углекислого газа в воздухе, и от содержания гидроокиси кальция в бетоне. Диффузионная сопротивляемость с удалением от наруж-

ной поверхности увеличивается, поэтому справедливо следующее соотношение:

$$Y = \sqrt{2D \frac{c_1}{c_2} x},$$

где Y — глубина карбонизации, мм; D — коэффициент диффузии (сопротивляемость прониканию CO_2 , $\text{мм}^2/\text{а}$; c_1 — концентрация углекислого газа в атмосфере у поверхности бетона, $\text{гр}/\text{м}^3$ (составляет около $0,6 \text{ гр}/\text{м}^3$); c_2 — необходимое для карбонизации 1 м^3 бетона количество углекислого газа, $\text{гр}/\text{м}^3$ (определяется содержанием свободной гидроокиси кальция в бетоне); x — продолжительность карбонизации, годы.

Таким образом, карбонизация является естественным процессом, который развивается с момента изготовления бетона. Однако он влияет не только на формирование структуры бетона и развитие его прочности, но и на изменение его способности обеспечивать защиту арматуры от коррозии. Карбонизация не является дефектом бетона, так как он сам по себе не претерпевает никаких разрушений. Однако бетон теряет способность коррозионной защиты, и при наличии достаточного количества кислорода и воды, находящаяся в карбонизированном слое бетона сталь начинает корродировать.

Следует учитывать, что расположенная в карбонизированной области арматурная сталь не обязательно будет ржаветь. Коррозия стали происходит лишь в том случае, если имеются по меньшей мере следующие условия:

отсутствие активной коррозионной защиты в результате карбонизации бетона (или же разрушение активной защиты в условиях агрессивных

сред, например хлоридными соединениями);

присутствие воды или высокая относительная влажность воздуха;

присутствие кислорода.

В наружных поверхностях стен почти всегда имеются в достаточном количестве кислород и влага, что приводит к коррозии арматуры. Во внутренних помещениях, главным образом в помещениях с повышенной влажностью (кухни, ванные комнаты и т. п.), тоже может происходить коррозия стали. В отапливаемых сухих помещениях (жилые комнаты) коррозионные разрушения встречаются редко даже в тех случаях, когда окружающий бетон карбонизировал.

Наличие коррозии обнаруживается не сразу. Продукт коррозии стали превышает ее первоначальный объем, в бетоне возникает давление, которое способно вызвать отслоение защитного слоя. Повреждение становится заметным, когда давление, вызванное образованием слоя ржавчины, превышает сцепление бетона с арматурой. В исключительно благоприятных условиях этого может и не случиться, так как при значительном слое бетонного покрытия его отслоение не происходит и процесс развития коррозии может затормозиться. Однако в большинстве случаев коррозия стали вызывает отслаивание бетонного покрытия и повреждение становится заметным.

Степень карбонизации в значительной степени зависит от времени, в течение которого конструкция поглощает угле-

кислый газ из атмосферы, поэтому основную причину увеличения коррозионных повреждений железобетонных деталей, подверженных атмосферным воздействиям (конструктивные элементы фасадов), следует искать в возрасте строительного сооружения. В правилах производства железобетонных работ принята такая минимальная толщина защитного слоя бетона, что при нормальных атмосферных условиях фронт карбонизации не достигает стали за срок службы, установленный для данного сооружения. Поэтому отслоение бетонного покрытия в результате образования коррозии на поверхности арматуры проявляется лишь при его недостаточной толщине.

В нормальных условиях карбонизация протекает очень медленно и продвигается с внешней поверхности в глубину. Так как начальное значение водородного показателя бетона составляет примерно 13, а в дальнейшем оно снижается до значения <9 , то зону карбонизации можно сделать видимой путем нанесения на бетон фенолфталейнового раствора. При этом обнаруживается четкая граница между карбонизированным и некарбонизированным бетоном, так как переходная зона отсутствует. Однако это не означает, что граница между зонами проходит ровно, как по линейке, всегда образуются отчетливые пики, которые достигают двойного или даже тройного значения средней глубины карбонизации. В практике эти пики имеют решающее зна-

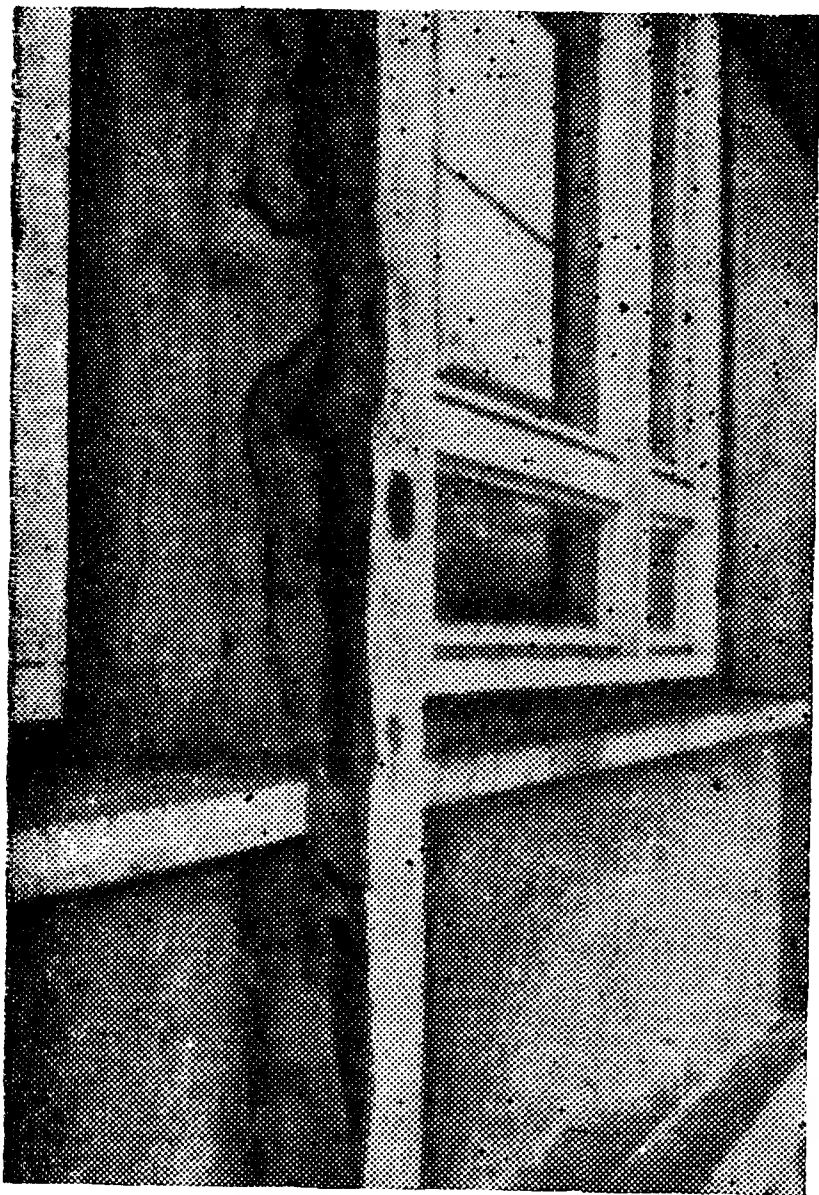


Рис. 15. Коррозия арматуры колонны на фасаде в результате прогрессирующей карбонизации

чение, так как в их зоне и начинается коррозия. С начала процесса коррозии и до образования создающего внутреннее давление количества ее продуктов проходит несколько лет. Даже при наличии нескольких миллиметров бетонного покрытия пройдет от пяти до десяти лет, прежде чем начнут отслаиваться первые участки бетонного покрытия и повреждение станет видимым.

На развитие процесса карбонизации решающее влияние оказывает качество наружной поверхности бетонного покрытия. Одной из главных причин, ускоряющей процесс карбонизации, является недостаточная обработка поверхности бетона. При недостаточном последующем уходе за бетоном глубина карбонизации уже по истече-

нии пяти лет может достигать 10 см.

Трещины в защитном слое бетона ускоряют процесс карбонизации. Углекислый газ (CO_2), в этом случае может проникать в глубь бетона не только с его внешней поверхности, но и через боковые трещины.

Обусловленные трещинами пики фронта карбонизации оказывают более вредное воздействие, если через эти трещины к стали имеют доступ пары воды, кислород и другие вещества, ускоряющие процесс коррозии. В результате образуются участки с ослабленным поперечным сечением арматуры.

7.1.2. Некачественная установка арматуры. Защитный слой бетона. Продолжительность срока службы железобетонных элементов в значительной мере зависит от профессионального мастерства производителей работ по укладке арматуры: от правильного распределения стержней, достаточного расстояния между стержнями и соблюдения необходимой для предохранения арматуры толщины защитного слоя бетона.

Коррозия железобетона начинается, как правило, не в бетоне, а в стали, когда защита арматуры окружающим ее бетоном перестает действовать. Наиболее распространенная причина коррозии — это недостаточный защитный слой бетона. Очень часто не соблюдаются минимальные допуски на толщину защитного слоя, определенные в DIN 1045. Отчасти это объяс-

няется недобросовестной работой на строительной площадке, дефицитом рабочих со специальной подготовкой. Иногда даже квалифицированные рабочие не представляют, что произойдет с бетоном через несколько лет, если не будут соблюдены минимально допустимые величины защитного слоя бетона. Однако дефекты бетонного покрытия очень часто заложены уже на стадии проектирования.

Например, тот, кто проектирует парапетную плиту толщиной 6 см с арматурным каркасом из несущих арматурных стержней диаметром 10 мм и поперечных с диаметром 6 мм, предполагает, что можно обеспечить минимальный защитный слой бетона толщиной около 2 см и тем самым соблюсти требования DIN 1045. Но он уже заложил возмож-

ный строительный дефект: эти плиты изготавливаются не высококвалифицированными механиками на точных станках, а рабочими, обученными на строительной площадке. Уменьшение поперечного сечения до последнего сантиметра допустимо по расчетам, но с точки зрения надежности экономически не оправдано. Затраты на дополнительное увеличение защитного слоя бетона на 1—2 см очень незначительны по сравнению с затратами на последующее восстановление.

Исходя из вышесказанного следует пересмотреть строительные нормы и правила и, в первую очередь, DIN 1045, основываясь на сегодняшних знаниях причин выхода из строя строительных конструкций в соответствии с требованиями долговечности или ре-

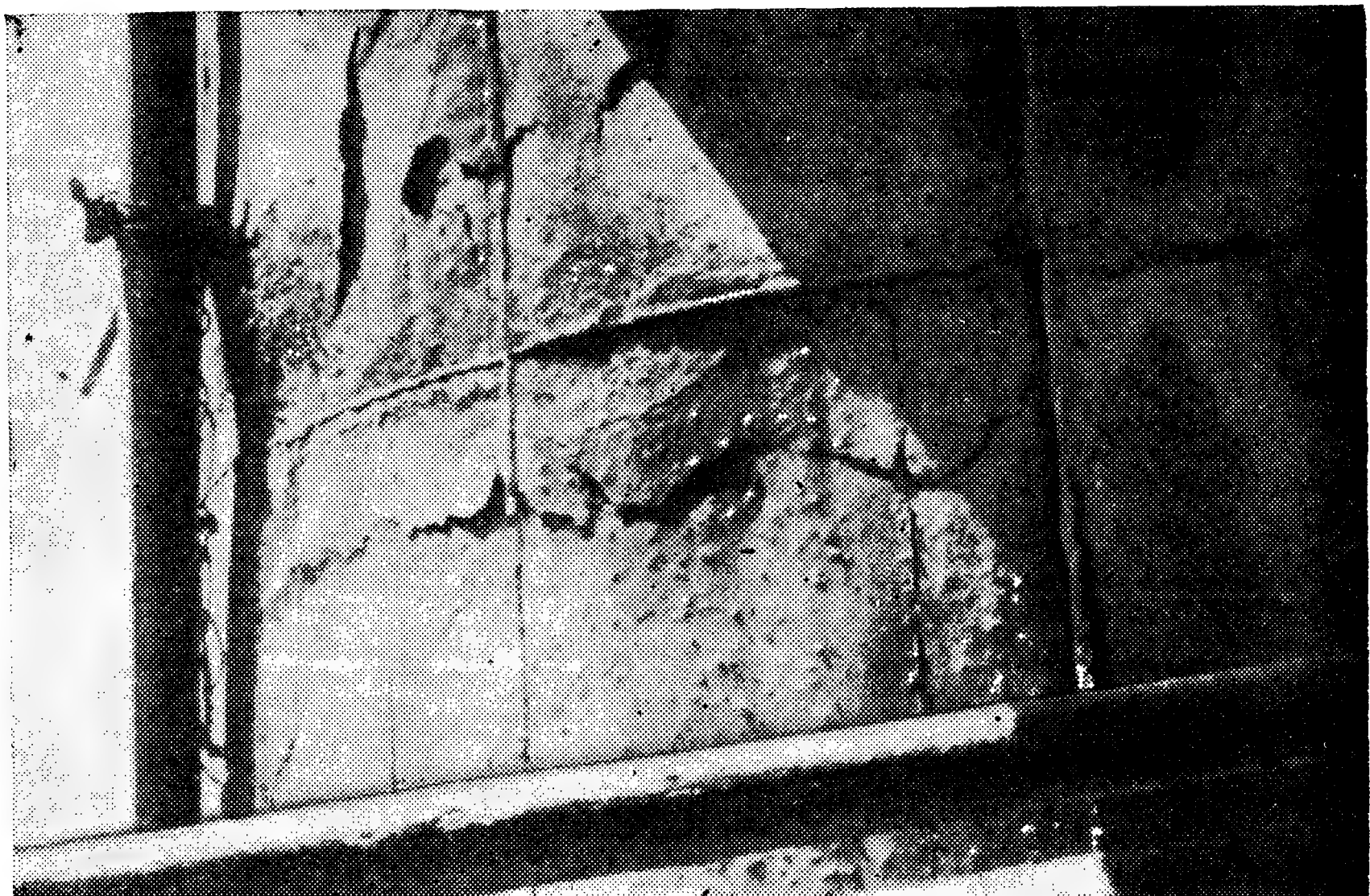


Рис. 16. Коррозия арматуры становится заметной лишь при отслоении бетонного покрытия

монтапригодности, предъявляемыми к строительным сооружениям, не снижая при этом расчетного коэффициента безопасности, но и не увеличивая без должного обоснования минимально допустимых размеров поперечных сечений конструкций и толщины защитного слоя бетона.

Чрезмерная плотность расположения арматуры. Систематический анализ причин выхода из строя железобетонных конструкций показывает, что почти во всех случаях причиной разрушения является не недостаточное количество арматуры, а ее разрушение в результате коррозии. Известно, что арматура не в состоянии предотвратить образование трещин, в результате чего со временем нарушается щелочная коррозионная защита и воз-

никает прямая угроза надежности строительного объекта. Трещины практически не возникают из-за недостатка арматуры, а появляются при полном отсутствии ее или неправильной ее установке, поэтому следует обсудить вопрос о возможном уменьшении количества арматуры, регламентируемого нашими техническими нормами. Уменьшение арматурного насыщения железобетонных конструкций создало бы лучшие условия для обеспечения коррозионной защиты, что особенно важно в связи с намечаемым в будущем увеличением срока службы железобетонных строительных сооружений с 50 до 100 лет.

Железобетонные конструкции, до предела насыщенные арматурой, можно рас-

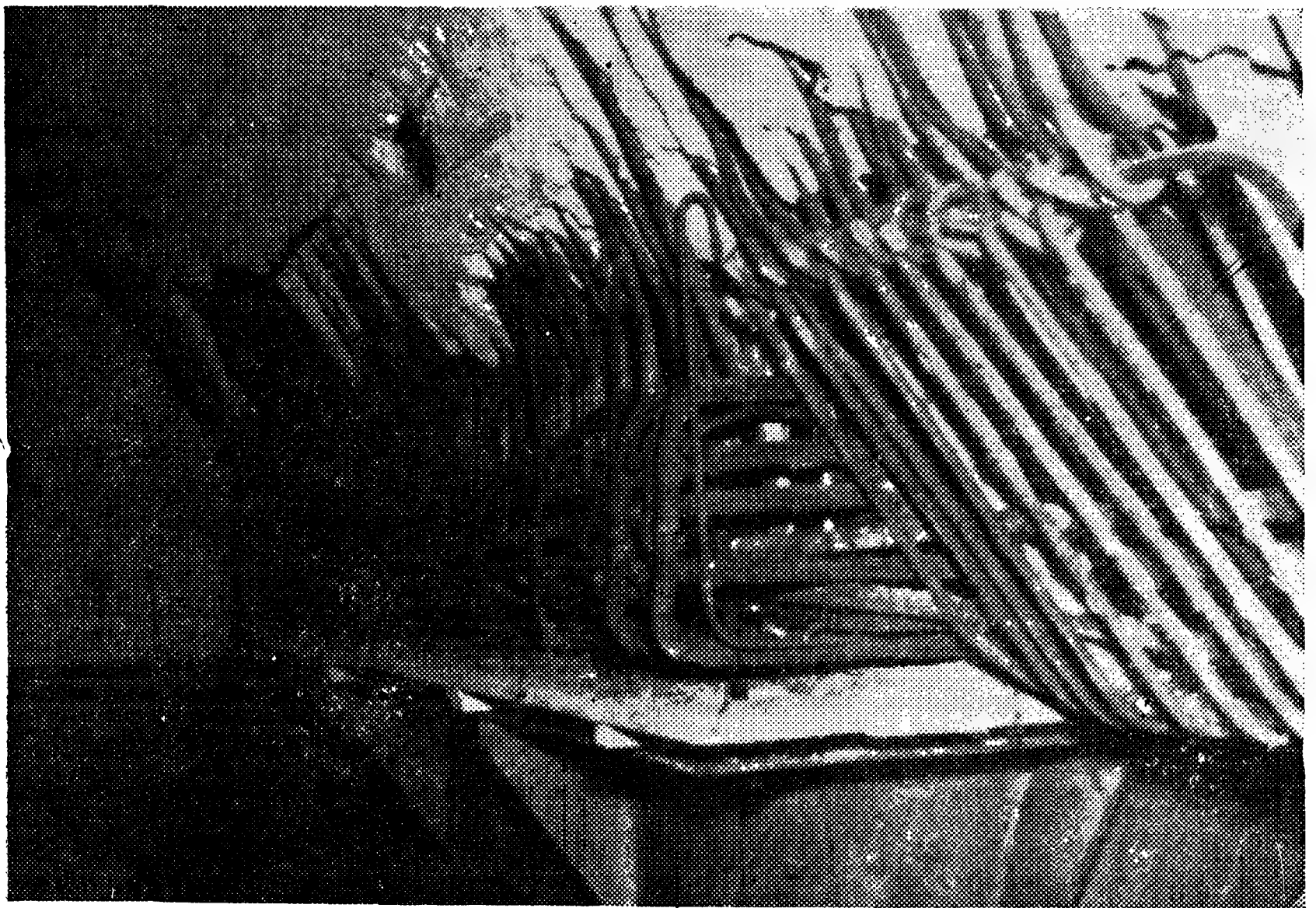


Рис. 17. Чрезмерное насыщение элемента арматурой

смаатривать как стальные. Бетон здесь остается лишь для коррозионной защиты, но обычные способы коррозионной защиты стали лучше подходят для этого, нежели бетон.

Практически не было случаев выхода из строя сооружений из-за недостаточного количества арматуры (даже в том случае, когда арматуры на 20—30 % меньше, чем требуется из расчетов по методике DIN 1045), в то время как постоянно растет число случаев дефектов строительных конструкций из-за коррозии арматуры. Это свидетельствует о том, что дальнейшее развитие железобетона должно привести к уменьшению арматуры. Тем самым будут созданы условия для нормального расположения арматурных стержней и обеспечены возможности для создания защиты слоя бетона как средства долгосрочного предохранения арматуры от коррозии.

7.1.3. Требования, предъявляемые к восстановительно-защитным мероприятиям. Как обеспечить надежную защиту арматуры от коррозии, когда карбонизация распространилась уже на значительную глубину и, возможно, достигла поверхности арматуры? В большинстве случаев нет необходимости удалять весь карбонизированный бетон, так как он еще вполне прочен. Рыхлый бетон следует удалить, освобожденное место зачистить и тщательно заделать торкретбетоном или растворами из синтетических смол. Затем следует принять меры для предот-

вращения дальнейшей карбонизации, используя различные способы защиты наружной поверхности бетона. Наиболее надежным способом является последующее нанесение бетонного слоя методом торкретирования. Новое бетонное покрытие остановит процесс карбонизации.

Если плотность или толщина бетонного слоя окажется недостаточной, чтобы обеспечить надежную защиту в течение всего срока службы сооружения, следует нанести дополнительный слой методом торкретирования или, по крайней мере, нанести защитное покрытие, способное на какое-то время замедлить развитие процесса карбонизации. Первый способ приводит бетонное покрытие в надлежащее состояние, удовлетворяющее требованиям DIN 1045, т. е. на длительный срок устраняет причину выхода из строя строительных элементов, второй дает возможность продлить на некоторый период защиту от коррозии. Повторяя это мероприятие через определенные промежутки времени, можно значительно увеличить срок службы строительного объекта.

7.2. ХИМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БЕТОН

Издавна искусство строительства заключалось прежде всего в знании основных свойств применяемых строительных материалов. К отрицательным качествам строительного материала относит-

ся подверженность его химическим разрушениям. Все материалы, за исключением благородных металлов, склонны образовывать новые химические соединения при контакте с другими веществами. Вследствие этого исходные свойства веществ полностью или частично изменяются. Способность материалов образовывать новые химические соединения зависит как от их химического состава, так и от плотности.

Все это относится и к бетону, который, в сущности, состоит из связанных цементом природных камней. Предрасположенным к образованию новых химических соединений, в первую очередь, является цемент, в то время как существующий уже в течение многих миллионов лет естественный камень значительно мень-

ше расположен к этому. Цементный камень особенно чувствителен ко всякого рода кислотным воздействиям. Почти все составные части различных цементов являются щелочными, поэтому цементный камень не обладает сопротивляемостью против органических или неорганических кислот.

В результате воздействия кислот на содержащиеся в цементе известняк и глинозем происходит образование солей, сопровождающееся сильным увеличением начального объема. Это вызывает нарушение структуры бетона и разрыв внутренних связей.

Слишком мягкая вода вымывает из бетона известковые соединения и делает его структуру более рыхлой. Это возможно в том случае, если бетон обладает малой плотно-

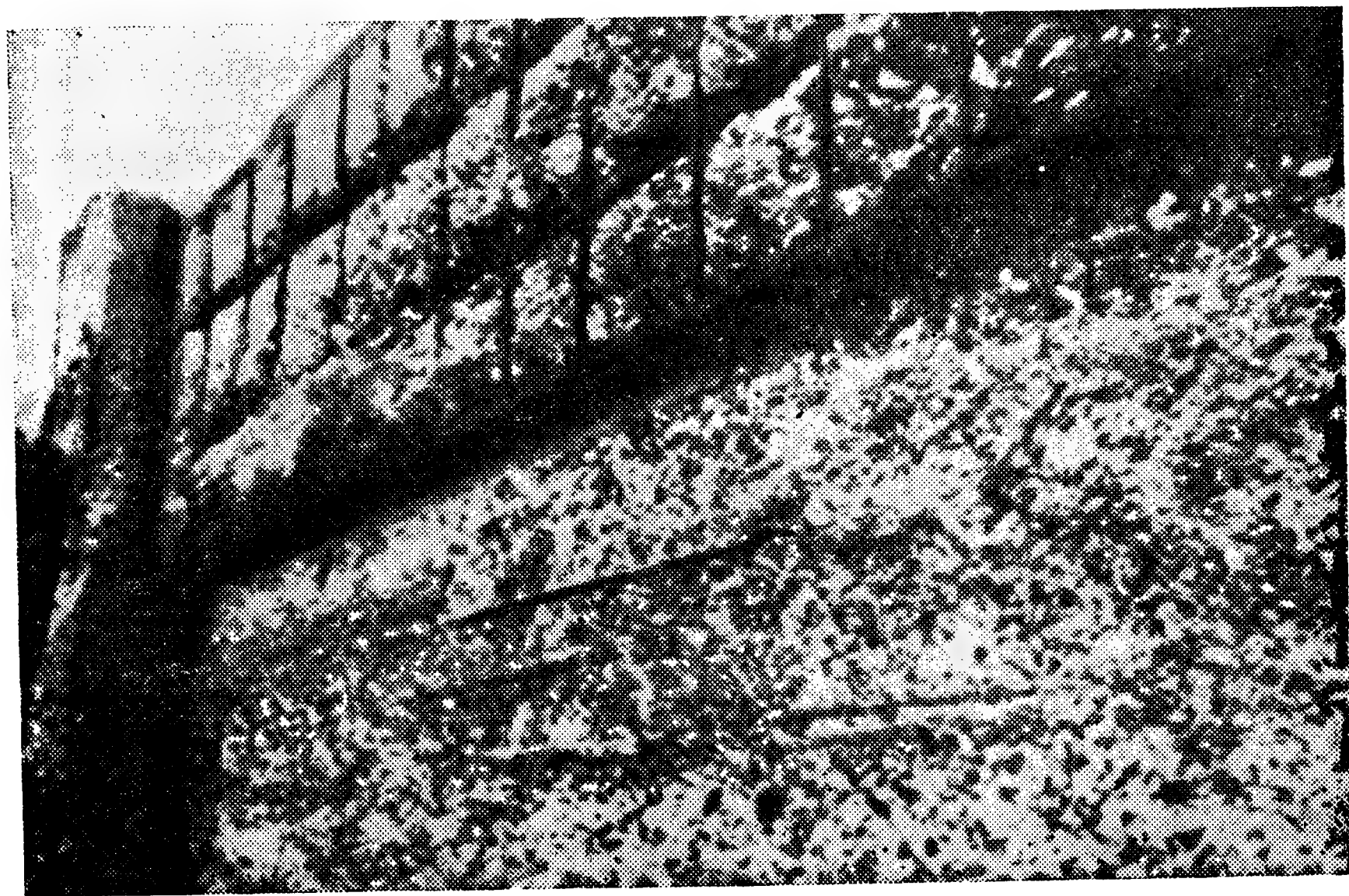


Рис. 18. Результат воздействия кислотосодержащей воды на железобетонный канализационный резервуар

стью и вода может фильтроваться через него.

Таким образом, кислоторастворимые заполнители и составные части бетона (известняк, диабаз и т. п.) при воздействии на них кислот разрушаются, а восприимчивые к щелочам составные части (опал, кремний и т. п.) размываются щелочными водами и бетон разрушается изнутри.

Редкая химическая реакция обходится без воды, и поэтому бетон, на который воздействуют химически агрессивные воды, подвергается опасности вдвойне. С одной стороны, агрессивные вещества постоянно попадают в воду и проникают в бетон, с другой, вода необходима для протекания химических реакций. Поэтому каждый здравомыслящий проектировщик обязательно предусматривает защиту бетона от разрушающего воздействия воды. Этого можно достигнуть, применяя в зависимости от степени агрессивности воздействующих на сооружение растворов специальные бетоны или нанося на бетон дополнительные защитные покрытия.

Плотность бетона является решающим фактором, определяющим его способность сопротивляться агрессивным средам, поэтому повсюду, где ожидается воздействие агрессивных сред, следует применять плотные бетоны. В связи с этим в DIN 1045 оговорено использование бетона класса по прочности не ниже B35, так как плотность бетона пропорциональна его прочности. В случае применения бетона более низкого класса для по-

вышения его плотности следует увеличивать содержание цемента.

За исключением катастрофических случаев, в атмосфере едва ли возможны такие концентрации вредных веществ, которые могут непосредственно воздействовать на бетон. Однако газы намного легче проникают в бетон, чем жидкости. Так как бетон обладает пористой структурой, то при заполнении пор водой, особенно на внешней поверхности, агрессивные вещества, проникшие вместе с воздухом внутрь бетона, растворяются в поровых водах. Если это происходит в течение многих лет, то концентрации агрессивных веществ, опасных для бетона, могут достичь высоких значений, что может привести к его разрушению. Это явление наблюдается не только в искусственных, но и в связанных естественных породах, например песчанике.

Учащение подобных случаев объясняется тем, что за последние десятилетия значительно увеличилось содержание химических веществ в атмосфере. Кроме того, не только описанная выше концентрация агрессивных веществ, но и процесс химического воздействия на элементы конструкции требуют времени и становятся заметными лишь тогда, когда разрушение уже произошло. Таким образом, с увеличением возраста сооружений должно возрастать и число повреждений, обусловленных агрессивным воздействием химических веществ. Это усугубляется еще тем обстоятельством,

вом, что прежде не придавали особого значения опасности химического воздействия атмосферного воздуха, содержащего агрессивные вещества, поэтому большинство строительных объектов сооружалось без достаточной защиты от агрессивного воздействия окружающей среды.

7.2.1. Растворяющее воздействие. Бетон является искусственным материалом, составные части которого — заполнители и добавки связаны между собой цементным камнем. Если в результате химического воздействия распадается это вяжущее вещество, то разрушится и бетон. В то время, как заполнители, как правило, состоят из выветрившихся горных пород, относительно стойких к химическим воздействиям, цементный камень представляет собой гелеобразный продукт, образовавшийся в результате гидратации преимущественно из силикатов и алюминатов кальция. Содержащаяся в растворенном состоянии некоторая часть гидроокиси кальция не оказывает существенного влияния на прочность бетона, а имеет значение лишь для защиты арматуры от коррозии. Так как цементный камень является щелочным материалом, то на него может воздействовать любая кислота, и в случае достаточного ее количества и концентрации он может быть разрушен. В результате растворения цементного камня взаимосвязь между заполнителем и вяжущим значительно снижается и при постоянном

воздействии кислот полностью разрушается.

Пока поверхностный слой бетона не нарушен, процесса химической агрессии не происходит, так как он всегда начинается с наружной поверхности и протекает в глубину. Чем больше площадь, подвергшаяся агрессии при наличии раковин и трещин на внешней поверхности бетона, тем больше продуктов коррозии образуется и тем быстрее протекает процесс разрушения. Особенно опасно проникание агрессивных растворов для пористого бетона и бетона, имеющего трещины. Здесь необходимо как можно раньше провести соответствующие мероприятия, предотвращающие начало процесса разрушения. При воздействии незначительного количества кислот достаточно применить плотный бетон, в случаях же большого количества кислот или при непрерывно повторяющихся воздействиях следует применять защитную пленку, устойчивую к воздействию кислот и предотвращающую проникание кислоты в цементный камень.

7.2.2. Расширяющее воздействие. Расширяющие воздействия в бетоне происходят тогда, когда агрессивные вещества, реагируя с цементным камнем (гораздо реже с заполнителями), образуют новые продукты, объем которых значительно больше первоначального. В результате увеличения объема образовавшегося продукта происходит разрыв внутренней структуры бетона. Если расширяющиеся вещества про-

никают внутрь бетона (трещины), или содержатся в нем (щелочепоглощающие заполнители), то действие расширения в большинстве случаев оказывает более сильное разрушающее воздействие, нежели растворяющие процессы.

Наиболее важными моментами такого воздействия являются следующие.

Сульфатное расширение. Если на бетон воздействуют газы или растворы, содержащие сульфаты, то в результате реакции между сульфатами и трикальцийалюминатом (C_3A) цементного камня происходит образование стрингита. Причем объем образовавшихся продуктов достигает трехкратного увеличения, и бетон разрушается изнутри.

Щелочное расширение. Если материал заполнителей содержит слабокристаллизованную кремневую кислоту (например, опал, кремнь и т. п.), то это может при сильнощелочных цементах привести к образованию щелочно-силикатных гелей, которые при поглощении воды сильно разбухают.

Обусловленные этим расширяющие явления приводят к образованию трещин, понижению прочности и, в конечном счете, к разрушению бетона.

Действенность расширяющих воздействий может быть значительно снижена благодаря подбору специальных цементов (например, с высокой сопротивляемостью сульфатам) и заполнителей. Решающее значение также имеет плотность бетона. При сильном сульфатном воздействии еще

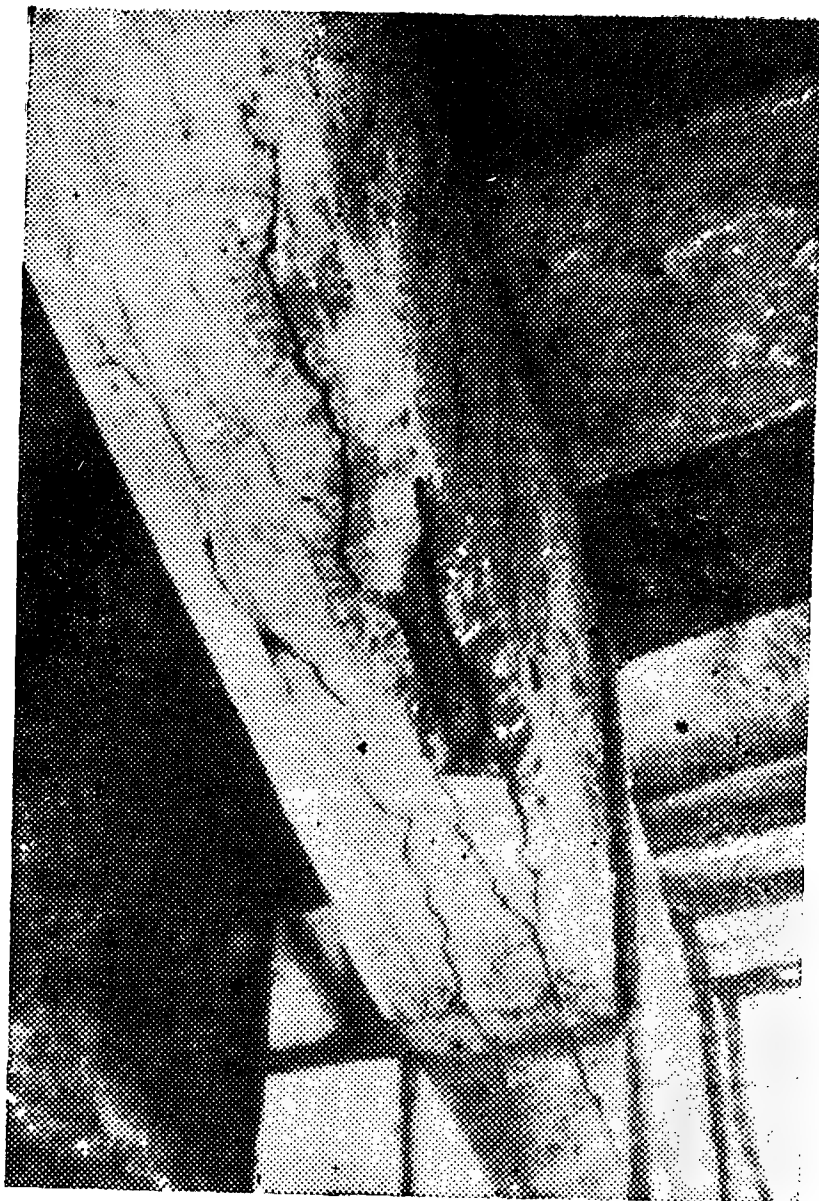


Рис. 19. Отслаивание бетонного покрытия под воздействием сульфатсодержащих дымовых газов

остается защита внешних поверхностей соответствующими материалами, т. е. устройство дополнительных покрытий. Однако это мероприятие при чувствительных к воздействию щелочей заполнителях не гарантирует успеха, так как щелочная реакция не произойдет, если отсутствует вода.

7.3. ХЛОРИДЫ

Несколько лет назад у целого ряда вновь построенных зданий возникла угроза обрушения покрытий. Причиной этого оказались хлоридосодержащие составные части бетона. В результате было категорически запрещено применение хлоридосодержащих заполнителей, цементов и добавок для изготовления пред-

варительно напряженного железобетона (DIN 1045). Но несмотря на это возросло число случаев, когда железобетонные конструкции испытывали на себе воздействие хлоридов. Речь идет о двух случаях.

7.3.1. Применение средств, предотвращающих обледенение бетона. Для борьбы с гололедом зимой специальная служба дорожного движения разбрасывала по дорогам за сезон 1—2 млн т рассыпной соли, не задумываясь о возможных вредных последствиях воздействия хлорида натрия на состояние, например, железобетонных мостов. Последствиям интенсивного применения средств, предотвращающих обледенение, и воздействию их на арматурную сталь также уделялось мало внимания, а все усилия были направлены, главным образом, на создание бетона, устойчивого к воздействию отрицательных температур и средств, предотвращающих обледенение. Благодаря изготовлению высококачественного плотного бетона можно достичь определенной стойкости против воздействия отрицательных температур и средств, предотвращающих обледенение (если они применяются в небольшом количестве). Однако без дополнительной защиты арматурной стали (главным образом, напряженной стали) антикоррозионными покрытиями невозможно создать надежную защиту от коррозии, если бетон конструкции к тому же не обладает достаточной плотностью, способной предотвратить

соприкосновение хлоридосодержащих растворов с арматурной сталью.

Процесс коррозии в условиях воздействия соляных растворов. Средством борьбы с гололедом является главным образом неочищенная каменная соль, т. е. хлорид натрия (NaCl). Механизм таяния льда при воздействии на него соляных растворов основывается на том, что точка таяния смеси льда и водного раствора соли намного ниже температуры таяния льда в чистой воде. Понижение температуры замерзания пропорционально концентрации соляного раствора.

Внезапное понижение температуры ниже 0°C сказывается, в первую очередь, на состоянии мостовых пролетных конструкций, так как в отличие от поверхности полотна проезжей части дорог пролетные конструкции промерзают и покрываются ледяной коркой со всех сторон. Поэтому все мостовые сооружения, расположенные в областях, где существует угроза гололеда, обрабатываются средствами, предотвращающими обледенение. В результате лед и снег, находящиеся на пролетных конструкциях, тают, и образуется раствор хлорида различной концентрации. Этот раствор, вызывающий коррозию, согласно законам гравитации, стремится проникнуть внутрь мостовой конструкции. В результате недостаточной плотности отдельных участков бетонного покрытия раствор может достигнуть расположенной в бетоне арматурной ста-

ли (обычной или напряженной). Из-за интенсивного движения транспорта частицы соляного раствора в виде тумана поднимаются вверх и осаждаются на расположенных выше элементах мостовых конструкций, также разрушая их. Коррозионные процессы в стали и бетоне под воздействием хлоридов протекают по-разному.

Коррозия бетона. Протекающие в бетоне процессы, обусловленные воздействием соляных растворов, а также попеременным влиянием замораживания и оттаивания различны. Характер их воздействия и проявления исследован еще не полностью.

Химическое воздействие.

В результате реакции хлоридов с цементным камнем образуются хлористо-кальциевые соединения. Из-за повторяющихся в течение многих лет химических воздействий может произойти распад вяжущих или разрыв структуры вследствие внутреннего давления, обусловленного образованием соединений большого объема в поровых пространствах бетона.

Температурный удар.

При таянии льда потребляется значительное количество теплоты. Например, при таянии 1 гр льда — 335 Дж теплоты. Быстрое охлаждение наружной поверхности бетона, обусловленное таянием льда на ней, может привести при неизменной температуре внутренних слоев к напряжениям в цементном камне. При частом повторении температурных переходов в течение длительно-

го времени (мороз — оттепель) может произойти разрушение структуры бетона и снижение его прочности.

Неодновременность образования льда в разных зонах бетона.

При нанесении соли на обледенелую поверхность бетона происходит интенсивное поглощение теплоты из верхнего слоя бетонного покрытия, и несмотря на высокую концентрацию соли в воде, содержащейся в порах бетона этого слоя, она может замерзнуть. То же самое может произойти с водой в порах, находящейся в более глубоких зонах бетонного слоя, где концентрация соли значительно ниже.

Вода в порах со средней концентрацией соли, находящаяся между этими зонами, замерзает лишь при дальнейшем понижении температуры. Давление, возникающее в промежуточном слое в результате увеличения объема воды на 9 % при замерзании, не может быть воспринято соседними, уже замороженными слоями, поэтому происходит разрушение структуры бетона, проявляющееся часто в форме воронкообразных раковин. Эти процессы протекают одновременно, параллельно друг с другом, кроме того, они усугубляются воздействием динамических нагрузок от движущегося по мостовым сооружениям транспорта и могут надолго вывести из строя все сооружения. В последнее время все чаще отмечают такие повреждения бетона.

Разрыхление микроструктуры бетона, естественно, сни-

жает его сопротивляемость воздействию температурных колебаний, и повышает уязвимость от применения средств борьбы с гололедом и тем самым расширяет поле деятельности для агрессивных материалов всех видов, способных нанести вред бетону.

Коррозия стали. При изготовлении бетона в результате растворения содержащихся в цементе известковых частиц образуется щелочной раствор со щелочным показателем рН более 12. В процессе твердения бетона не происходит никаких особых изменений, так как содержащаяся в порах цементного камня вода имеет высокий показатель рН.

При таком показателе рН на наружной поверхности арматурной стали образуется слой из окиси трехвалентного железа, который защищает наружную поверхность стали от коррозии.

Коррозионная защита сохраняется до тех пор, пока щелочной показатель рН окружающего сталь бетона не снизится ниже 8,3; например в результате карбонизации (преобразование гидроокиси кальция плюс углекислого газа воздуха в карбонат кальция). При достаточной толщине слоя бетонного покрытия этого не происходит. Если возможно проникание хлоридов до поверхности стали, то в этом случае они разрушают пассивированный слой и действуют непосредственно на сталь. Если процесс протекает на узкоограниченных местах, то это может привести к язвенной коррозии (точечной кор-

розии). Раствор хлорида натрия, который образовывается при применении средств, предотвращающих обледенение, через трещины или дефектные места может достичь стали, а с течением времени он может собраться и в порах бетона в виде раствора и воздействовать через капилляры на арматуру.

Процесс коррозии определяется концентрацией хлоридов в порах бетона, окружающего сталь. В настоящее время действуют следующие ограничения на допустимое содержание хлоридов в бетоне: 0,4 % массы цемента в бетоне для мостов из обычного железобетона и 0,2 % для предварительно напряженного железобетона. Эти ограничения учитывают не общее содержание хлорида в бетоне, а лишь ту часть свободного хлорида, который может вступать в реакцию, т. е. хлорид, находящийся в соединении с другими веществами, не учитывается.

7.3.2. Хлоридное поражение в результате сгорания поливинилхлорида. Во время пожара происходит термическое разложение PVC-материалов, т. е. поливинилхлорида. Этот материал применяют для изготовления полов, мебели, штор, портьер, а также как электрическую изоляцию проводов, укладываемых в кабельные каналы или в промежутки между перекрытиями. Широкое использование поливинилхлоридов для отделки зданий привело к возрастанию числа случаев сгорания или обугливания этих материалов.

При термическом разложе-

нии поливинилхлорида выделяется хлорный газ или его соединения. Проникающие в бетон хлориды лишь в редких случаях угрожают бетону: только тогда, когда в результате реакции с кислородом (выделяемым из воды при тушении пожара) образуется соляная кислота (HCl). В подавляющем большинстве хлорный газ проникает в бетон на глубину лишь нескольких миллиметров. Глубина проникания хлорного газа зависит от количества образовавшегося при пожаре газа и плотности бетона. Несмотря на то что хлориды, как правило, не создают непосредственной угрозы бетону, при производстве ремонтно-восстановительных работ на зараженное хлоридами бетонное покрытие следует наносить слой штукатурки или облицовывать защитным покрытием. В результате диффузионных или капиллярных процессов содержащиеся в бетонном покрытии хлориды со временем могут достичь поверхности арматурной стали, что неизбежно приводит к развитию коррозионного процесса в стали и, в конечном счете, к разрушению арматуры.

При подозрении на хлоридное поражение бетона в результате сгорания или обугливания поливинилхлоридных материалов следует установить, действительно ли хлориды проникли в слой бетона и какова глубина их проникания. Для этого проводят проверочные испытания: наносят на проверяемую поверхность 1 %-ный раствор нитрата серебра и 5 %-ный раствор хромата ка-

лия. Если при нанесении этих индикаторных растворов поверхность бетона не окрасится в коричневый цвет, а сохранит желтый, хроматный, значит, в бетон проникли ионы хлоридов. Такие испытания дают лишь качественные, но не количественные результаты.

Как уже было сказано выше, предельно допустимое содержание хлоридов, представляющих опасность для арматурных сталей, составляет 0,4 % массы цемента, для обычной арматуры и 0,2 % для напряженной арматуры. Решающую роль в развитии процесса коррозии в стали играет не наличие хлоридов в окружающем ее бетоне, а их концентрация. Поэтому необходимы результаты количественного анализа, проводимого в лабораторных условиях, который дает точные данные о превышении предельно допустимых норм содержания хлоридов в бетоне.

Наиболее действенным способом удаления хлоридов, находящихся на поверхности элементов железобетонных конструкций или проникших в них на незначительную глубину, является пескоструйная обработка этих поверхностей. При достаточно глубоком проникании хлоридов в слой бетонного покрытия такой зараженный слой следует удалять и заменять его торкретбетоном.

7.4. ВОДОРОДНАЯ КОРРОЗИЯ

Наряду с обычной коррозией стали в результате окисления ее кислородом существует водородная коррозия, наиболее

опасная для предварительно напряженной арматуры. Издавна известно, что непосредственный контакт водорода со сталью повышает хрупкость последней и в результате снижает ее прочность. До недавнего времени считалось, что основная опасность заключается в доступе этого газа к стали коллекторов, резервуаров и т. п., однако в последнее время выяснилось, что наибольшая опасность для стали и прежде всего для высокопрочных напряженных арматурных сталей, возникает в том случае, когда при нормально протекающем процессе коррозии выделяется свободный водород даже в незначительных количествах. Сущность развития и протекания этого процесса может быть представлена следующим образом.

Любая коррозия может происходить лишь во влажных условиях, при этом процесс развивается аналогично процессам, протекающим в гальваническом элементе. Вода (водяные пары) выполняет функции электролита между двумя материалами, из которых один корродирует, а другой остается без изменения. При такой коррозии электролит разлагается на водород и кислород. Кислород участвует в процессе коррозии стали, а свободный водород реагирует с имеющимся в изобилии кислородом воздуха и вновь переходит в воду. При недостатке кислорода (например, в закрытых анкерных каналах) в течение долгого времени может выделяться свободный водород и воздействовать на сталь.

Этот водород проникает в корродирующую сталь и создает в ней так называемую водородную хрупкость, которая по своему влиянию на прочность стали выходит далеко за рамки действия обычной коррозии.

Увеличение содержания водорода вызывает образование трещин и даже разрушение стали. Причины разрушения стали в результате воздействия водорода еще не полностью выявлены, но точно установлено, что проблема этого широко распространенного побочного эффекта процесса коррозии стали сильно обострилась в связи с применением высокопрочных сталей, используемых для предварительного напряжения. За последние годы в ФРГ отмечается увеличение числа таких разрушений в конструкциях мостов, среди которых можно назвать разрыв несущих арматурных канатов моста Кольранда в Гамбурге и обрушение покрытия зала Конгрессов в Берлине. В первом случае повреждение можно было бы предупредить своевременной заменой арматурных канатов. Во втором случае авария произошла в результате обрушения части конструкции перекрытия из-за разрыва предварительно напряженной арматуры.

7.5. ПОВРЕЖДЕНИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЩЕЛОЧНЫХ РЕАКЦИЙ В БЕТОНЕ

Повреждения бетонных строительных сооружений в результате щелочных реакций впервые были выявлены около 30 лет тому назад. Эти по-

вреждения происходят из-за реакции некоторых восприимчивых к воздействию щелочей заполнителей, содержащих кремниевую кислоту, и цементов со значительным содержанием щелочных компонентов. В некоторых странах, главным образом в Америке, Австралии и Дании, такие повреждения бетонных сооружений объясняли результатом щелочных реакций, происходящих в бетонных конструкциях. Были разработаны мероприятия, предупреждающие эти процессы. В ФРГ до последнего времени придерживались мнения, что применяемые заполнители не представляют опасности. Однако целый ряд повреждений бетонных сооружений в результате щелочных вспучиваний (в частности, в мостовых сооружениях в районах Шлезвиг-Гольштейна и Гамбурга) показал, что это мнение было слишком оптимистичным.

Научно-исследовательские институты цементной промышленности и другие исследовательские центры ФРГ разработали рекомендации по проведению мероприятий, предотвращающих щелочные реакции в бетоне. По этим рекомендациям восстановление поврежденных сооружений должно проводиться с использованием малощелочных цементов и должны применяться заполнители, в которых ограничивается предельно допустимое содержание способных к реакции пород. Соблюдение этих рекомендаций должно предотвращать будущие повреждения строительных сооружений, вызванных щелочными реакция-

ми. Однако за последние годы многие инженерные сооружения были возведены без соблюдения этих рекомендаций. В некоторых сооружениях уже обнаружены значительные повреждения, такие же результаты возможны в остальных зданиях.

Причинами повреждений являются реакции заполнителей (аморфных кремниевых кислот, например опаловых и кремниевых пород) с цементом, содержащими щелочные элементы. Однако независимо от содержания аморфной кремниевой кислоты в заполнителях и щелочи в цементе реакция может начаться лишь в случае, если проникающая в бетон вода образует гидроокись щелочного материала. Разрушение бетона происходит там, где вода имеет свободный доступ к поврежденному бетону (например, паводковые воды, ливень и т. п.). При этом темп разрушения быстро возрастает, если вода беспрепятственно проникает в глубинные слои бетонного покрытия через трещины в нем. Трещины, возникшие в результате расширения при щелочной реакции, располагаются вдоль действия сил от нагрузок. Расположение трещин в направлении действия нагрузок менее вероятно. В зависимости от наличия щелочи и жидкости, содержания способных к реакции кремниевых кислот (SiO_2) щелочная реакция затухает. Важным фактором для оценки состояния сооружения является оставшаяся прочность бетона.

Конечно, восстановить первоначальную прочность бетона

невозможно, но ремонтно-восстановительные мероприятия должны быть направлены на то, чтобы остановить развитие щелочных реакций в поврежденном бетоне, а значит, в первую очередь предотвратить доступ воды к бетону. Этого можно достичь нанесением достаточно толстого слоя торкретбетона или нанесением покрытия на основе синтетического полимера. Для сохранения несущей способности конструкции надо удалить поврежденные бетонные элементы и заново восстановить их с учетом обеспечения требуемой прочности. Имеющиеся трещины следует заделать инъецированием эпоксидной смолой.

В одном из мостов Гамбурга с подвесной проезжей частью, в котором уже начинались щелочные повреждения бетонных арок, их верхние поверхности были покрыты листовой сталью, а пространства между листами стали и бетоном вентилировались. Боковые и нижние поверхности арок были покрыты слоем эпоксидной смолы. Благодаря проведенным мероприятиям дальнейший доступ влаги к бетону был предотвращен, и тем самым были приостановлены дальнейшие щелочные реакции.

7.6. ПОВРЕЖДЕНИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Повреждения, вызванные землетрясениями (например, землетрясение, произошедшее в сентябре 1978 г.), — довольно редкое явление в ФРГ. Однако в некоторых областях

страны возможны сейсмические воздействия, поэтому строительные правила требуют проведения соответствующих строительных мероприятий в зависимости от степени сейсмической опасности района (DIN 4149 «Строения в опасных сейсмических районах Германии»). Расчет величин усилий при землетрясении основан на рассмотрении катастрофических случаев. Теория надежности, положенная в основу сейсмической безопасности, базируется на следующих основных требованиях.

Все конструкции должны быть сконструированы так, чтобы при катастрофе было возможно провести эвакуацию людей без причинения им какого-либо ущерба. Исходят из тех принципиальных соображений, что при катастрофических явлениях здание подвергается таким сильным разрушениям, в результате которых оно может быть восстановлено лишь со значительными материальными затратами или в зависимости от объема разрушений даже снесено.

Типичным для процесса разрушения объекта при землетрясении является то обстоятельство, что лежащие в основе расчета несущей способности и надежности принципы поставлены в этом случае «с ног на голову». В то время, как в нормальных условиях все воздействующие на сооружение нагрузки (полезная нагрузка, собственная масса, ветер, снег и т. п.) через конструктивные элементы и далее через фундамент передаются на грунт, при землетрясениях

происходит все наоборот. Возникшие в результате сотрясения глубинных слоев почвы горизонтальные и вертикальные силы передаются через фундамент на сооружение. Действующие в вертикальном направлении силы относительно хорошо воспринимаются конструктивными элементами строения, так как они рассчитаны на усилия, действующие вертикально вниз. Горизонтальные же сейсмические силы оказывают разрушающее воздействие, так как здание не рассчитано на их восприятие. Особенно плохо переносят такие нагрузки места, ослабленные выемками, нишами, отверстиями и т. п., т. е. места, плохо воспринимающие растягивающие усилия. При таких перегрузках вскрываются многие недостатки строительного сооружения, его конструктивные ошибки или дефекты строительства.

Возможные повреждения в результате землетрясений, так же как и в результате пожаров, должны обязательно учитываться. Регистрация объема разрушений не вызывает проблем, но оценка остаточной прочности сооружения, а также ответ на вопрос, имелись ли конструктивные недостатки, вызывают определенные трудности. Нет необходимости давать общую оценку остаточной прочности поврежденных конструктивных элементов; каждый случай должен оцениваться отдельно. Необходимо дать оценку состояния здания не по его внешнему виду, а по положениям действующих строительных норм. Они требуют, например, надежного

соединения между отдельными конструктивными элементами. Если же в каменной или кирпичной кладке имеются трещины, их надо заполнить соответствующим материалом, прочность которого должна быть не меньше прочности окружающего строительного материала. Если материал не способен воспринимать воздействующие на него усилия (а так обстоит дело в большинстве случаев), то усиливающие конструктивные элементы должны быть рассчитаны на передачу соответствующих усилий.

При разработке плана производства ремонтно-восстановительных работ исходя из остаточной прочности конструкции вырабатываются мероприятия, которые удовлетворя-



Рис. 20. Трещины на стенах угрожают прочности и устойчивости конструкций

ют требованиям надежности строительного сооружения и соответствуют строительным нормам. Если разрушение настолько сильное, что восстановить необходимую несущую способность здания имеющимися в наличии техническими средствами невозможно или же для этого потребуются очень большие материальные затраты, вышедшие из строя элементы сооружения надо заменить. Исключение составляют лишь строительные объекты, имеющие историческую ценность, когда экономические соображения не играют решающую роль.

При восстановлении бетонных сооружений в большинстве случаев имеют дело с трещинами в несущих бетонных стенах. Стены работают исключительно на сжатие, а при работе на изгиб устанавливается соответствующая арматура, устраиваются пилоны и т. п. Образовавшиеся в результате землетрясения трещины на стенах в большинстве случаев ставят проблему их прочности и устойчивости. При вертикальных и горизонтальных трещинах и при отсутствии надежной связи для отдельных частей стен зачастую невозможно обеспечить необходимую устойчивость.

При трещинах, проходящих наискось, появляется дополнительная опасность возникновения скользящей поверхности, т. е. опорные реакции, действующие в вертикальном направлении и влияющие лишь на прочность бетона на сжатие, приобретают некую составляющую, которая стре-

мится сдвинуть стену в сторону. Поэтому при устранении таких повреждений нельзя ограничиваться заделкой трещин, а нарушенные связи надо восстанавливать с помощью дополнительных анкерных элементов. Анкерные стяжки для большей гарантии устанавливают со стороны углов к середине стены. Наиболее важными условиями для эффективности действия анкерных стяжек являются достаточная ширина анкерной стяжки и место ее установки. Чем выше над поврежденной областью будут установлены стяжки, тем эффективнее будет их действие.

Там, где установка анкеров со стороны угла невозможна, создают соединение с помощью скоб, уложенных в достаточно широкую борозду над трещиной. В случае таких повреждений строительные элементы могут быть также стянуты с помощью находящегося за конструкцией стального анкера или каната. Такие анкеры должны обладать надежной коррозионной защитой. Кроме перечисленных способов, существует возможность обеспечения надежной устойчивости конструкции — это укрепление ослабленных мест стены с помощью усиливающей оболочки из арматурной сетки и торкретбетона.

7.7. БЕТОНИРОВАНИЕ В СТАЦИОНАРНОЙ ОПАЛУБКЕ

При изготовлении железобетонной конструкции в стационарной опалубке-облицовке опалубка бывает прочно

связана с монолитным бетоном конструкции и становится ее составной частью. Поэтому после укладки бетона невозможно обнаружить случайные ошибки, допущенные при бетонировании. Такие типичные ошибки, как неплотность бетона, пустоты, недостаточный защитный слой бетона и т. п., обычно заметны лишь при снятии опалубки. При бетонировании с применением опалубки-облицовки имеющиеся дефекты невозможно тут же устранить. Это может привести, особенно при большой влажности, к быстропрогрессирующей коррозии арматуры, которую к тому же невозможно обнаружить и в конечном итоге к опасному ослаблению конструкции.

При бетонировании с применением опалубки-облицовки следует в большей степени, чем при других способах строительства, обращать внимание на то, чтобы были обеспечены все необходимые условия для удобоукладываемости и уплотнения бетона, а именно: необходимая подвижность бетонной смеси; достаточное расстояние между арматурными стержнями; надежная фиксация расстояния между арматурными сетками и т. д. Кроме этого, при бетонировании в опалубке-облицовке следует строго контролировать качество бетона и степень его уплотнения. В некоторых случаях надо удалить отдельные участки опалубки-облицовки и проверить состояние бетона под опалубкой.

7.8. ПОВРЕЖДЕНИЯ ПРИ ПОЖАРАХ

7.8.1. Основные положения. Необходимо рассчитывать каждую несущую конструкцию так, чтобы в случае пожара она не сразу выходила из строя. Знание процесса сгорания материала недостаточно для выработки необходимых требований, гарантирующих несущую способность конструкции во время пожара, по крайней мере, на время эвакуации людей, находящихся в здании. Снижение надежности железобетонных конструкций зависит от температуры, длительности пожара, от статической системы, размеров поперечного сечения элементов конструкций, величины действующих нагрузок и других факторов.

Снижение несущей способ-



Рис. 21. По ряду характерных признаков определяется снижение несущей способности конструкции при пожаре

ности конструкции происходит из-за влияющих друг на друга факторов, таких как: снижение прочности бетона; снижение прочности стали; снижение сцепления стали с бетоном; деформации конструкции, обусловленные неравномерными температурными удлинениями.

Как показывает практика, сопротивление воздействию пожара железобетонных конструкций значительно выше минимальных требований строительных норм. Лишь в редких случаях (например, фермы из предварительно напряженного железобетона) возможны тяжелые повреждения, при которых ремонт конструкций после пожара экономически нецелесообразен или технически невозможен.

Новые технические направления в области строительства и прежде всего применение полимерных материалов требуют значительных затрат для восстановительных работ железобетонных конструкций, пострадавших от пожаров. Применение полимерных материалов в строительстве в случае возникновения пожара имеет следующие негативные последствия: увеличение силы воздействия огня от сгораемых искусственных материалов; снижение огнестойкости несущих строительных элементов; образование газов, которые могут быть опасными не только для людей, но и для несущих конструктивных элементов (например, повреждение арматурных стержней благодаря образованию хлоридных газов при сгорании поливинилхлоридных материалов); повышение теп-

лозащитной способности наружных стен. Для достаточно точного определения несущей способности железобетонной фермы во время пожара учитывают теплозащитные способности слоя бетонного покрытия, который защищает стальную арматуру от высокой температуры. При проведении испытаний на огнестойкость определяют, имеется ли необходимая толщина защитного слоя бетона по DIN 4102.

В новой редакции DIN 4102 «Характеристика огнестойкости строительных материалов и элементов» указаны предельно допустимые размеры железобетонных строительных элементов в зависимости от их класса огнестойкости. Существенной частью норм является установление минимально допустимых расстояний между арматурными стержнями и наружной поверхностью бетона, который может быть подвергнут воздействию огня при пожаре. Арматурные стали, применяемые в обычных и предварительно напряженных конструкциях, нуждаются в таком защитном слое бетона, который при пожаре не допустил бы нагрева стали до критической температуры, т. е. температуры, при которой напряжение стали в строительном элементе превосходит предел текучести. Эта критическая температура указана в зависимости от марки стали в DIN 1045 «Бетон и железобетон» и DIN 4227 «Предварительно напряженный железобетон».

Если слой бетонного покрытия недостаточен или бетонное покрытие заменено дру-

гим материалом, который не принадлежит к строительным материалам класса А, как этого требуют DIN 4102, то конструкция может не обладать надежной огнестойкостью и должна быть испытана на огнестойкость согласно DIN 4102. Когда из-за конструктивных особенностей железобетонные строительные элементы не могут быть покрыты защитным слоем бетона, толщина которого удовлетворяла бы требованиям пожарной безопасности, то допустима частичная замена бетонного покрытия на соответствующую штукатурную облицовку.

7.8.2. Определение объема повреждений. Объем разрушений, вызванный выходом из строя строительных конструкций в результате пожара, зависит от ряда факторов. Сильные повреждения лишь в редких случаях происходят из-за непосредственного воздействия огня. Тяжелые повреждения, такие как частичное или полное разрушение сооружения, обусловлены в большей мере сильными касательными напряжениями и соответственно реакциями связей, возникающими в результате температурных удлинений отдельных элементов конструкции. Для определения характера разрушений и выработки мероприятий по производству ремонтно-восстановительных работ необходимо для каждого конкретного случая повреждения определить следующее: силу пожара (температуру); распространение пожара; продолжительность пожара; вид сгораемых материалов (хлорид-

ное заражение при сгорании поливинилхлоридных материалов); габаритные размеры строительного сооружения, его статическую систему (статически определяемая или неопределяемая); вид бетона (качество бетона, заполнителей); вид арматуры (состояние, марка стали).

Эти факторы могут иметь разные воздействия на бетон и сталь. В дальнейшем они могут оказывать существенное влияние на железобетон.

Сила пожара. Температуры во время пожара зависят от пожарной нагрузки, т. е. от вида и количества сгораемых материалов в зоне действия пожара (пораженная пожаром часть здания), от доступа кислорода (вентиляции), а также от условий теплоотвода. Возникающие температуры могут возрастать более чем до 1000 °C.

Бетон. При температуре более 300 °C начинает распадаться содержащийся в цементном камне гидрат, снижение прочности на сжатие поначалу незначительно, но затем сильно возрастает при повышении температуры свыше 400 °C, а при температурах свыше 500 °C распадается порода заполнителя (кварц разрушается благодаря содержащейся в кристалле воде, известняк сгорает и распадается при гашении пожара). Снижение прочности конструкции, как правило, остается в допустимых границах, так как обусловленное температурным воздействием понижение прочности бетона происходит лишь в слоях, которые непосредствен-

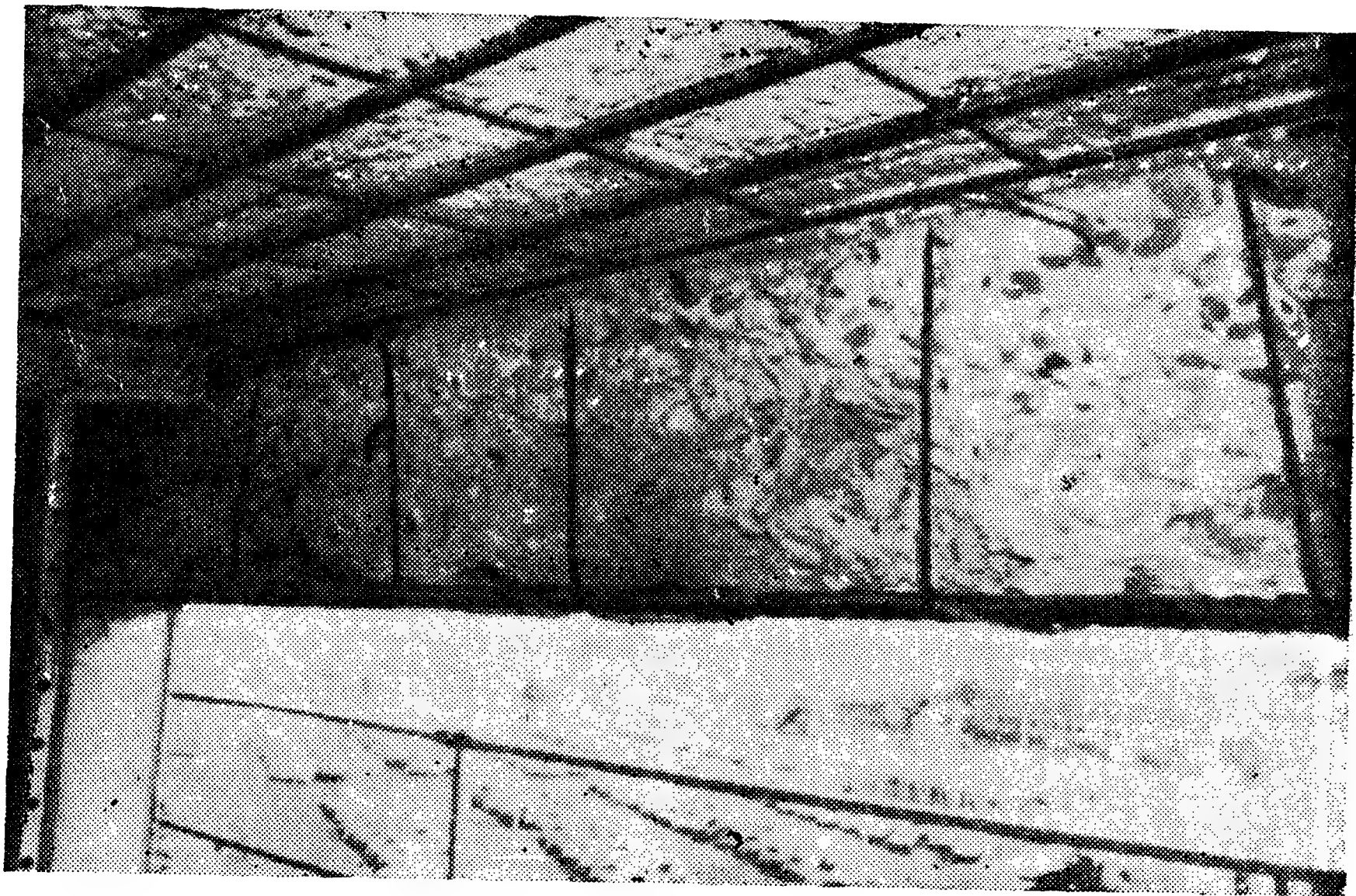


Рис. 22. Под воздействием высоких температур разрушается поверхностный слой бетона

но были подвержены воздействию высокой температуры. Температура 1000°C может воздействовать лишь на верхние слои толщиной до 3—5 см; этот слой является одновременно изолирующим слоем и таким образом защищает основной бетон конструкции от воздействия огня.

Сталь. Уже при относительно низких температурах сталь начинает удлиняться, и это происходит тем интенсивнее, чем меньше слой бетонного покрытия. В результате удлинения стали происходит отслоение бетонного покрытия и прежде всего в углах строительного элемента. При температуре 500°C сталь достигает предела текучести (зависит от марки стали) и больше не воспринимает увеличение нагрузки. Если от воздействия температуры пожара предел

текучести стали опустился ниже имеющихся в стали напряжений, значит, несущая способность конструкции исчерпана, и она разрушается.

Распространение пожара. Размеры охваченных пожаром территорий оказывают существенное влияние на состояние железобетонной конструкции. При многочисленных очагах возгорания образуется центр пожара с наибольшей температурой, а окружающие его участки не так сильно подвержены огню. При образовании ограниченного центра пожара возникают высокие напряжения в строительных элементах, находящихся непосредственно в зоне центра, а другие конструкции нагреваются незначительно и в большинстве случаев способны воспринимать возникающие в них усилия. Однако со временем пожар может

нагреть более обширные территории и тогда возникшие из-за температурных удлинений усилия часто бывают уже не в состоянии восприниматься связями нагрузки. В результате происходят сильные разрушения зачастую далеко от очага пожара, в наиболее слабых местах конструкции (например, в области стенных проемов).

Продолжительность пожара. Объем разрушения зависит и от времени, в течение которого повышенная температура воздействовала на конструкцию. С увеличением продолжительности пожара конструкция постепенно нагревается, и при длительном воздействии огня ставший более хрупким бетонный защитный слой отстает и облегчает огню доступ в глубокие слои конструкции и прежде всего к арматуре.

Вид сгораемых материалов оказывает огромное влияние на температуру огня и тем самым на масштаб разрушений. При сгорании определенных материалов могут образовываться газы, которые независимо от возникшей при пожаре температуры могут поражать железобетон и разрушать его.

Размеры конструкций и статические системы. Форма, размеры строительных элементов и статическая система конструкции оказывают существенное влияние на объем возникающих разрушений при пожарах. Можно утверждать, что строительное сооружение тем более подвержено разрушениям, чем ажурнее его конструктивные элементы.

При воздействии пожара на строительную конструкцию наиболее благоприятным является массивное поперечное сечение ее с относительно малой наружной поверхностью, так как температурное воздействие происходит со стороны внешних поверхностей, и верхние слои оказывают изолирующее действие, защищая лежащие ниже слои бетона. При частичном разрушении поперечного сечения наружной поверхности конструкции она будет сохранять свою несущую способность тем дольше, чем меньше соотношение между разрушенной и неповрежденной частями поперечного сечения конструкции.

Значительно сложнее выявить общую закономерность влияния статической системы строительной конструкции на состояние здания в условиях пожара. Статически определимые системы, как правило, гораздо лучше воспринимают деформации, вызванные сильным нагревом конструкции. Чаще всего они разрушаются лишь тогда, когда арматура, работающая на растяжение, нагрелась до такой степени, что предел текучести стали оказался ниже действующих в ней напряжений, или же деформации настолько велики, что опорные части уже не в состоянии воспринимать возникающих значительных усилий.

В статически неопределимых системах при пожаре наряду с напряжениями от внешней нагрузки, зависимиыми от поперечного сечения конструкции, возникают в большей или меньшей мере дополнительные

напряжения, которые часто вызывают сильные разрушения. В то же время благодаря возможному перераспределению усилий в этих системах остается еще значительный резерв.

Предварительно напряженные железобетонные конструкции, а также сборные железобетонные элементы особенно подвержены разрушению, так как при высокопрочных арматурных сталях в большинстве случаев защитный слой бетона находится на нижней границе допустимых значений, определенных в DIN 1045.

Вид бетона и заполнителей. Огнестойкость бетона в гораздо меньшей степени зависит от его прочности на сжатие, чем от состава заполнителей и содержания в них влаги. Коэффициент расширения минеральных заполнителей зависит от температуры и с ее повышением увеличивается. При достижении предельной для каждого минерала температуры объем его сильно увеличивается. Кварц при температуре около 500°C распадается из-за наличия в нем кристаллизационной воды, известняк при температуре свыше 800°C сгорает и распадается при гашении пожара. Вообще качественные изменения минералов происходят в довольно широких пределах температур: кварцевые породы при высоких температурах, известняки при самых низких температурах, между ними располагаются гнейсы, граниты, базальты и др.

Однако известняковые породы при повышении температуры сначала становятся прочнее, кварцевые породы при

температуре 500°C теряют свою прочность мгновенно. Можно сделать заключение, что бетон на основе известняковых заполнителей лучше противостоит огню, нежели бетон на основе кварцевой породы. Влажность бетона также негативно влияет на огнестойкость бетона. Высокая влажность бетона ведет к образованию пара и к внутреннему давлению, в результате которого происходит растрескивание бетона.

Вид арматуры. Выход из строя железобетонных конструкций под воздействием пожара происходит главным образом в результате снижения предела текучести стали на растяжение. Критическая температура, т. е. температура, при которой предел текучести стали становится ниже имеющихся в арматурной стали напряжений, зависит от класса стали и, согласно DIN 4102, составляет 500°C для сталей в ненапряженном бетоне и $300\text{—}500^{\circ}\text{C}$ для сталей в предварительно напряженном бетоне.

Однако даже если арматурная сталь конструкции во время пожара хорошо воспринимает действующие нагрузки, то в результате сильного нагрева отдельных элементов конструкции в течение длительного времени возможно снижение прочностных качеств стали и тем самым снижение запаса прочности всей конструкции.

Вообще обычные стали лучше противостоят воздействию пожара, чем высокопрочные, холодотянутые стали, которые при сильном нагреве быстро

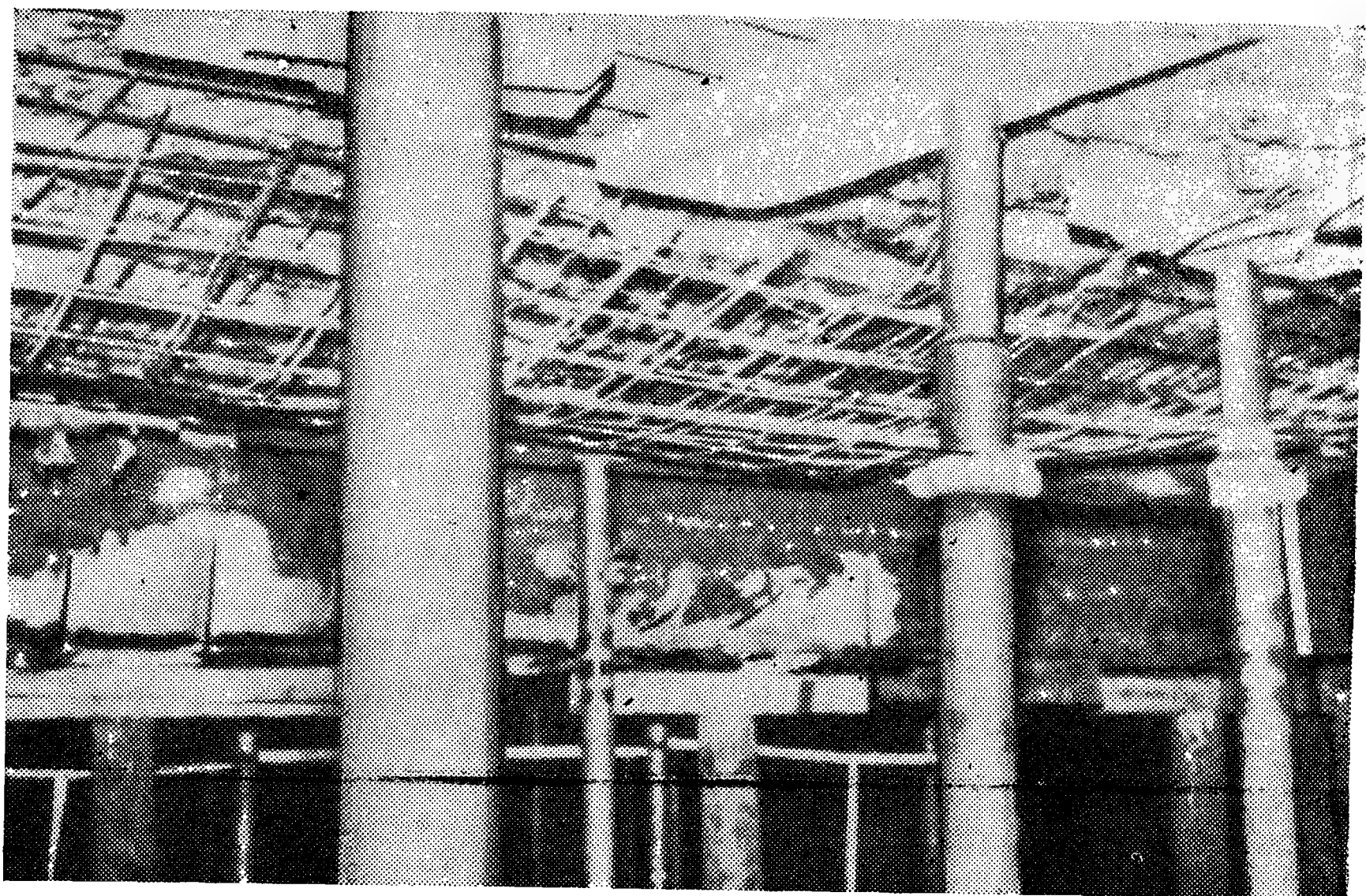


Рис. 23. Разрушение железобетонной конструкции при пожаре в результате текучести в зоне растягивающих напряжений

теряют прочностные качества, приобретенные в процессе холодной протяжки. Стали, применяемые главным образом в железобетонных конструкциях (22/34, 42/50, 50/55), при очень быстром нагреве и последующем охлаждении существенно теряют свою прочность, и, если в расчетах было принято наибольшее значение прочности стали, это может привести к аварийной ситуации.

После тушения пожара обычные стали при охлаждении принимают свою начальную прочность. Для высокопрочных сталей следует учитывать, что они теряют свои высокие прочностные качества, приобретенные в процессе холодной обработки. После охлаждения их можно рассматривать как обычные стали.

Если после достижения термического предела текучести

стали ее резко охладить (например, гасящей водой), то может произойти изменение структуры стали и, как следствие, потеря ее способности к пластическим деформациям. В результате увеличивается опасность разрушения при возможных последующих перенапряжениях конструкции.

7.8.3. Оценка повреждений. Исходным пунктом для проведения ремонтно-восстановительных работ после пожара является точное определение и оценка всех повреждений. При этом, руководствуясь приведенными выше общими сведениями о характере воздействия пожара на сталь и бетон, можно сделать определенные выводы по объему и характеру повреждений.

Эти повреждения могут и не оказывать влияния на запас несущей способности сооруже-

ния, как, например, загрязнение копотью или отпадание облицовочного покрытия. Но они могут проявляться и в форме различных разрушений отдельных конструктивных элементов и в совокупности привести к разрушению всего сооружения.

При проведении обследования легких повреждений, как, например, откол бетонного защитного слоя, внимание обращается, прежде всего, на чистоту бетона и визуальную оценку повреждений. При этом бетон, подвергшийся сильному воздействию огня и возможно утративший часть своей прочности, часто может быть распознан по приобретенной красноватой окраске. Причина покраснения — окисление содержащегося в цементном камне соединений железа, обусловленное воздействием высоких температур.

Состояние бетона можно определить следующим способом. Молотком простукивают бетонную поверхность и по различному звучанию отдельных мест методом сравнения со звуком неповрежденного бетона делают выводы о состоянии бетона в сооружении. При простукивании можно также установить пустоты, образовавшиеся между бетоном и сталью, когда полного отделения слоя бетона еще не произошло. Тонкие, не видимые невооруженным глазом трещины не оказывают влияния на несущую способность сооружения, но они могут воздействовать на коррозионную защиту арматуры. Если возникают сомнения относительно прочно-

сти бетона, то существует еще один метод обследования прочности бетона с применением специального эталонного молотка. Если же бетонное покрытие находится в хорошем состоянии и нет признаков его отслоения, то значит прочность стали не снизилась.

Если имеются тяжелые повреждения, то это является результатом того, что разрыхление бетона произошло на большую глубину или же арматурная сталь после отслоения бетонного покрытия была подвергнута сильному воздействию огня. Результаты обследования должны показать, возможно ли восстановить конструкции до первоначального состояния, или же их надо усилить, или вообще полностью создать заново.

При пожарах со сгоранием поливинилхлоридных материалов следует проверить, насколько глубоко ионы хлоридов проникли в толщу бетона для того, чтобы впоследствии удалить бетон на эту глубину.

7.8.4. Основные предпосылки целесообразности производства ремонтно-восстановительных работ. При сильных разрушениях железобетонной конструкции в результате пожара встает вопрос, имеет ли смысл технически возможное восстановление конструкции или же целесообразнее снести старое строение и построить новое?

Восстановление объекта должно осуществляться с позиций современных технических концепций, с соблюдением всех действующих технических и строительных норм и правил. Надо сделать все возможное

для удаления поврежденных пожаром частей конструкции, подвергнутых прямому или косвенному воздействию огня (например, хлоридному поражению), и привести их к состоянию, которое должно удовлетворять требованиям заложенной проектом прочности, заменяя старый бетон и арматурную сталь на новые. Это оказывается не всегда возможным, например, если уложенная в неповрежденный бетон арматурная сталь из-за воздействия огня лишилась части своей прочности или если на несущих частях конструкции в результате сильного нагрева появились трещины. В этих случаях нельзя ограничиваться восстановлением прежнего состояния, а нужно провести дополнительные мероприятия (добавление арматуры, усиление поперечного сечения, инъецирование трещин, установку анкеров и т. п.), заботясь о том, чтобы несущая способность конструкции не только удовлетворяла техническим требованиям, но и был бы заложен необходимый запас прочности.

Все ремонтно-восстановительные работы должны производиться на основе директив Германского комитета по железобетону. Важным моментом в этих директивах является установление точной последовательности производства отдельных ремонтно-восстановительных работ. В частично поврежденных конструкциях, у которых сильно снижена прочность отдельных элементов, особенно важно, чтобы отдельные восстановительные опера-

ции проводились в строгой последовательности, одна за другой, т. е. работу на последующем участке восстановления можно начинать лишь в том случае, если бетон на предыдущем участке уже приобрел достаточную прочность.

Надежность конструкции нужно проверять не только после завершения восстановительных работ, но при необходимости и на промежуточных этапах. Для этого применяют крепление подпорками, которые могут быть установлены и соответственно удалены лишь тогда, когда вновь установленные детали конструкции будут в состоянии воспринимать те нагрузки, на которые они рассчитаны.

7.9. ТРЕЩИНЫ

Трещины в бетоне — не только показатель наличия повреждения, но и его причина. В зависимости от месторасположения трещины, статической системы и назначения строительного сооружения может быть дан различный ответ на вопрос, какая опасность угрожает сооружению, есть ли необходимость в восстановительных мероприятиях и каких именно.

7.9.1. Влияние трещин на состояние железобетонной конструкции. При определении предела прочности на растяжение одного строительного сооружения было установлено, что весь бетон, находящийся в зоне растяжения, не работает и растягивающие усилия воспринимаются только арматурой (стадия III). Трещина в

зоне растягивающих усилий не влияет непосредственно на прочность конструкции, а угрожает лишь коррозионной защите арматуры. В нормальных условиях арматуре не угрожает опасность коррозии, если удастся избежать образования больших трещин. В этом случае связь между бетоном и сталью гарантирует, что ширина трещин будет небольшой (так называемые волосяные трещины шириной не более 0,3 мм).

Если ширина трещин будет больше допустимой или же возможно агрессивное влияние окружающей среды (например, применение на поверхности мостов средств, предотвращающих обледенение), в этом случае нужно позаботиться о заполнении трещин подходящим материалом, чтобы обеспечить коррозионную защиту стали.

В строительных нормах производства железобетонных работ не установлена предельно допустимая ширина трещин. В DIN 1045 есть указания о необходимости ограничения ширины раскрытия трещин в зависимости от вида армирования (предельный диаметр, класс стали).

Рекомендации Европейского комитета по бетону (CEB) предлагают при расчетах железобетонных объектов ограничивать ширину раскрытия трещин в зависимости от условий окружающей среды и допускают для внутренних помещений с нормальной влажностью ширину трещин в 3 раза больше, чем для строительных элементов, подверженных особо агрессивному воздействию.

При определении влияния трещины на коррозионную защиту арматуры и соответственно на долговечность конструкции придерживаются, по возможности, этих рекомендаций CEB, и вопрос, при какой ширине трещины требуется ее заделка для обеспечения необходимой коррозионной защиты арматуры, решается в зависимости от условий окружающей среды.

Трещины шириной 0,3 мм для нормальных и 0,1 мм для агрессивных условий окружающей среды можно заделать лишь с помощью синтетического полимера. Заделка трещины в зоне растягивающих усилий должна обеспечить коррозионную защиту арматуры, что не предусматривает обя-

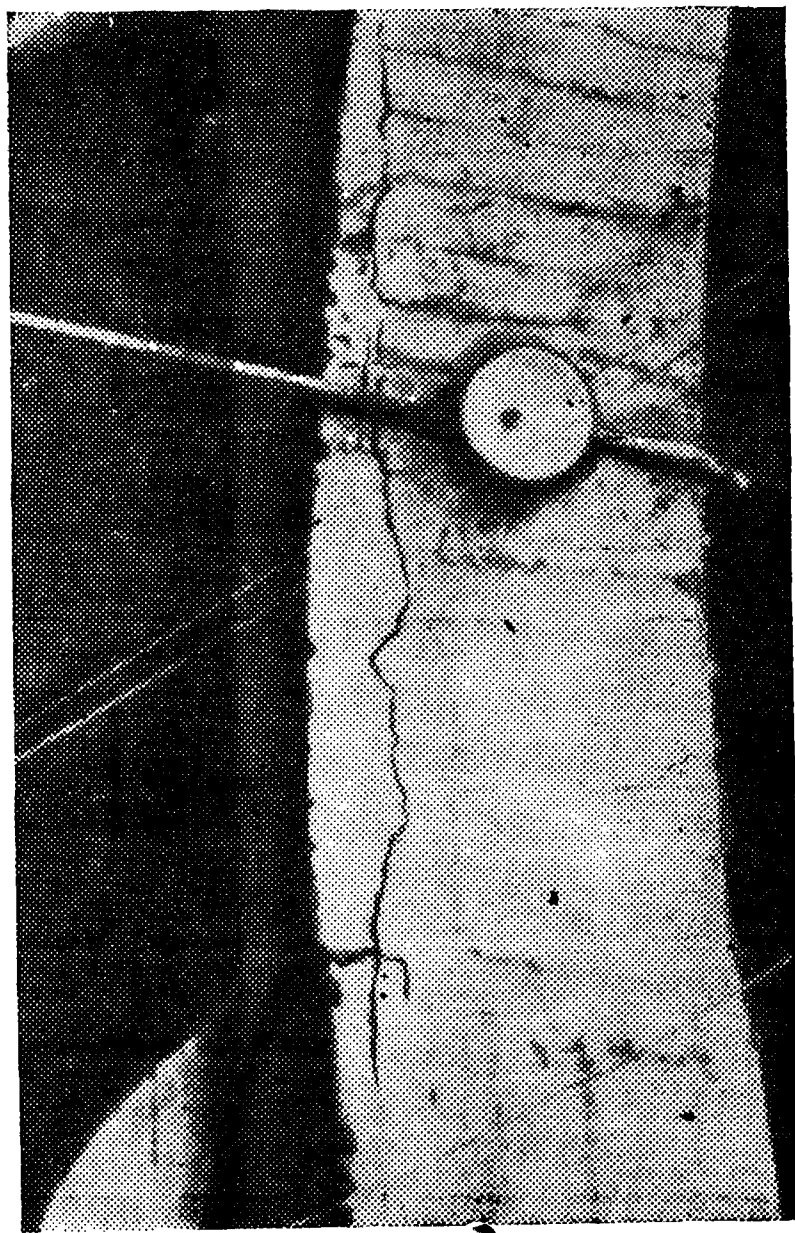


Рис. 24. Особое внимание должно уделяться трещинам, проходящим параллельно арматуре

зательное полное заполнение трещины до самой арматуры, а лишь закрытие трещины. При небольшой ширине трещины (менее 0,3 мм) этой цели можно достичь многократным нанесением с помощью кисти подходящего полимера. Так как здесь не предусматривается восприятия усилий, то вполне достаточно какого-нибудь эластичного материала, не обладающего большой прочностью.

Все, о чем было сказано выше, справедливо лишь для трещин, направленных поперек укладки арматуры. К трещинам, направленным параллельно арматуре, предъявляются более строгие меры, так как здесь предполагается частичное снижение сцепления между сталью и бетоном, необходимого для передачи нагрузок от бетона к стали. Восстановление прочного сцепления между бетоном и сталью требует по возможности 100 %-ного заполнения трещины высококачественной эпоксидной смолой.

Также обстоят дела с трещинами в бетоне в зоне действия сжимающих и сдвигающих усилий. Здесь также образуются трещины в результате превышения способности бетона воспринимать растягивающие усилия, действующие в направлении главных растягивающих напряжений. Появление первой трещины в этой области свидетельствует о том, что здесь действуют растягивающие напряжения, которые не может воспринимать имеющаяся арматура. Повреждения, конечно, могут возникнуть лишь тогда, когда произойдут слиш-

ком большие поперечные сдвиги. Это предотвращается зацеплением краев трещин благодаря имеющимся в составе бетона острым зернам заполнителей. Однако при расширении трещин создается такая ситуация, при которой острые зерна заполнителя довольно интенсивно выкрашиваются и допускают образование поперечных сдвигов. Это явление может привести к сильной деформации и к последующему обрушению конструкции.

Так, например, наиболее часто возникающие трещины в результате сдвига не представляют большой опасности до тех пор, пока они находятся в зоне растяжения. Опасными они становятся только тогда, когда распространяются в зону сжатия и уменьшают необходимое для восприятия сжимающих напряжений поперечное сечение конструкции.

Любая трещина в зоне сжимающих усилий представляет тем большую опасность для несущей способности конструкции, чем меньше угол между трещиной и направлением действия сжимающих усилий. При появлении трещины в зоне сжатия конструкции ее надо заделать как можно быстрее. Прочность материала для заделки трещин должна соответствовать по крайней мере прочности бетона в зоне ее нахождения и, по возможности, не обладать высокой эластичностью, чтобы полностью восстановить сцепление и тем самым предотвратить возможный поперечный сдвиг, приносящий значительный вред надежности конструкции. При заделке та-

ких трещин речь, как правило, идет не о восстановлении ослабленной прочности на растяжение, а об обеспечении прочности на сжатие и восприятии возникающих в области трещин касательных и срезающих усилий.

7.9.2. Причины появления трещин. О причинах появления трещин и их влиянии на несущую способность конструкций существует много противоречивых мнений. Независимо от выяснения вопроса об ответственности (кто возмещает убытки за повреждения и восстановительные работы), прежде чем приступать к восстановительным работам, должна быть точно выявлена причина появления каждой трещины в конструкции. Восстановительные работы должны включать в себя устранение причин появления трещин.

До начала работ по заделке трещин выявляют причины их происхождения (температурные расширения, усадка, перенапряжение конструктивных элементов и т. д.), далее устанавливают, развивается ли трещина (гипсовые марки или аналогичные реперные устройства). При любой восстановительной работе не имеет смысла устранять основные разрушения, если перед этим не были ликвидированы причины, вызвавшие их.

Причина образования трещины и ее характер находятся в тесной взаимосвязи; форма трещины, ее размеры и характер развития позволяют сделать вывод о причине ее появления. Часто случается так, что одна причина вызывает

образование нескольких трещин в различных местах, взаимное расположение их является важным показателем для определения причин их появления. Иногда одновременно действуют несколько причин, и это обстоятельство затрудняет определение характера трещины.

Способами и признаками выявления причин появления трещин являются следующие:

гипсовые марки; они позволяют определить, находится ли трещина в состоянии покоя или еще развивается;

глубина трещин; она свидетельствует, находится ли разлом в области внешнего бетонного покрытия или он проходит насквозь через весь строительный элемент;

характер и прежде всего взаимное смещение краев трещины; они дают представление о направлении действия усилий.

Так как производству работ по заделке трещин должно обязательно предшествовать техническое решение его проведения, включающее в себя устранение причин их появления, то необходимо в каждом случае образования трещины точно установить причину, ее обусловившую. Ниже рассмотрены наиболее важные причины появления трещин.

Общие причины образования трещин. Обычно трещины образуются в результате деформаций, обусловленных температурными расширениями или воздействием нагрузок. Причина появления всех трещин — растягивающие напряжения. Все материалы изменя-

ют свою форму под воздействием внутренних или внешних сил (причем в широких пределах). Благодаря конструктивным формам строительных элементов, ограничивающим возможности их расширения, возникают реакции связей. Трещины всегда образуются лишь в том случае, если возникшие в строительной детали напряжения превышают ее прочность на растяжение. Так как для несущих конструкций строительного сооружения строительным материалом преимущественно является бетон или каменная кладка, у которых прочность на растяжение составляет лишь незначительную часть прочности на сжатие, то все образующиеся трещины в подавляющем большинстве возникают в результате превышения прочности на растяжение.

Инженер должен предусмотреть возможные изменения размеров конструктивных элементов. Соответствующими мероприятиями он должен или избежать их с помощью выбора соответствующих сечений, или же правильным расположением деформационных швов воспрепятствовать образованию чрезмерных реакций связей. Деформационный, или лучше сказать технологический шов есть не что иное, как предупреждение появления возможной трещины. Он имеет смысл лишь в том случае, если расположен там, где при деформации строительного сооружения возможно образование трещин и если он выполнен таким образом, что при изменении размеров конструк-

ции именно в этом месте она могла бы свободно перемещаться.

В зависимости от вида строительного материала и статической системы трещины могут указывать на нарушение связи бетона с арматурой, необходимой для работы конструкции, и тем самым на разрушение строительного элемента. С другой стороны, не представляя прямой угрозы прочности конструкций, они могут способствовать ускорению процесса коррозии, создавая возможность для проникания агрессивных сред внутрь строительного элемента и тем самым с течением времени привести к разрушению строительного элемента.

Трещины в защитном слое бетона. Невозможно избежать образования трещин в железобетоне. На начальной стадии работы железобетон воспринимает все растягивающие усилия, и лишь когда прочность на растяжение бетона будет превзойдена, возникает первая трещина. В том месте, где образовалась трещина, сталь должна сразу же воспринять все растягивающие усилия, которые до сих пор воспринимались бетоном. Резкий скачок напряжений в арматуре зависит от коэффициента армирования. Таким образом, растягивающие напряжения в стали резко возрастают, в то время как в бетоне, в том же месте, они резко падают. В результате этого трещина становится видимой. Бетон оказывает сопротивление растяжению арматурной стали около образо-

вавшейся трещины. Следствием сцепления бетона и стали являются растягивающие напряжения в бетоне. На определенном расстоянии от трещины под воздействием растягивающих сил образуется следующая трещина. Появление трещины происходит тем раньше, чем меньше поперечное сечение бетона, участвующее в восприятии растягивающих усилий. Таким образом, слишком малое сечение бетона ведет к преждевременному образованию трещин.

Трещины, образовавшиеся в результате непредусмотренного кратковременного увеличения напряжений в конструкции. При пожарах происходит сильный местный перегрев строительных элементов. В результате этого в очаге действия пожара, в течение нескольких часов температура иногда поднимается свыше 1000°C и в строительных элементах происходят температурные расширения. Бывают случаи, когда в железобетонных колоннах из-за сдвига железобетонной балки происходит удлинение более чем на 10 см. Эта опасность в большей степени угрожает стальным балкам, так как коэффициент температурного расширения стали выше. В тех местах, в которых невозможно свободное перемещение при температурных расширениях, из-за превышения напряжений предела прочности на растяжение образуются трещины. В железобетоне при значительной пластичности стальной арматуры такие температурные расширения обычно происходят в области трещины, одна-

ко после охлаждения бетона эти трещины закрываются.

При землетрясениях в результате толчкообразного движения подземных слоев грунта значительные горизонтальные и вертикальные силы передаются через фундамент на здание. Элементы несущих конструкций рассчитаны в сущности на восприятие вертикальных сил, которые складываются из собственной массы конструкции и полезной нагрузки, так что действующие в противоположном направлении снизу вверх силы, как правило, воспринимаются без всяких разрушений. В противоположность им горизонтальные силы являются причиной появления трещин и прежде всего в стенах с проемами. Из-за трещин, проходящих вертикально или с наклоном, возникают отдельные участки стен, для которых не обеспечена устойчивость положения. Для восстановления конструкции уже недостаточно заполнить трещину каким-либо плотным и прочным материалом, здесь следует предусмотреть анкерные элементы для дополнительного крепления растрескавшегося строительного элемента.

Трещины, обусловленные начальными напряжениями, возникают в бетонных строительных элементах в течение первых дней твердения бетона.

1. Усадочные трещины, обусловленные высыханием бетона, возникают в результате быстрого высыхания внешней поверхности свежеложенного бетона и прежде всего когда свежий бетон попадает в усло-

вия быстрого высыхания (под воздействием солнечных лучей). Особенно подвержены опасности плиты для высотного строительства, мостовых и инженерных строительных сооружений.

2. Усадочные трещины, обусловленные сокращением объема. В процессе высыхания цементного камня происходят объемные изменения в бетоне (усадка). Если воспрепятствовать этому типичному для бетона сокращению объема, то прежде всего в первые дни, когда бетон еще обладает относительно незначительной прочностью, появляются трещины шириной до нескольких миллиметров.

3. Трещины, обусловленные неравномерным охлаждением бетона. В результате разной скорости охлаждения строительных элементов с различными размерами поперечного сечения (например, плиты и балки) может возникнуть в первые 2—3 дня температурная неравномерность, которая вызывает внутренние напряжения, превосходящие прочность бетона на растяжение. Это может создать критическую ситуацию, если прочность бетона формируется медленнее, чем возникающие внутренние напряжения, обусловленные различной скоростью его охлаждения.

4. Трещины, обусловленные большим гидратационным нагревом при затвердевании бетона. Такие трещины возникают лишь в массивных бетонных элементах в результате выделения теплоты при гидратации цемента, которая вслед-

ствие массивности элемента не в состоянии из глубинных слоев быстро передаться наружу. Возникающие при этом деформации материала, обусловленные разницей температур по толщине бетонного массива, могут привести к образованию трещин, так как бетон в первые часы после схватывания цемента обладает незначительной прочностью.

Трещины, образованные эксплуатационными нагрузками и воздействием окружающей среды.

1. Трещины, появившиеся в результате температурных расширений. В результате изменения температуры окружающей среды в строительных материалах происходят температурные деформации. В местах, где возникают деформации, обусловленные разностью температур, напряжения превышают предел прочности материала, в результате этого образуются трещины. Типичные места образования трещин — места соединения элементов в статически неопределимых системах и места, в которых сопрягаются строительные элементы с различными поперечными сечениями. Такие трещины могут образоваться лишь спустя годы и в тех случаях, когда климатические условия создают значительные перепады температур.

2. Трещины, обусловленные силовыми факторами. Причиной появления таких трещин являются перегрузки. Это происходит, когда конструктивные элементы воспринимают более высокие нагрузки, чем может воспринять бетон при данном поперечном сечении, т. е. когда

железобетонным конструкциям недостает арматуры, способной воспринять растягивающие или сдвигающие усилия.

3. Трещины, возникающие из-за различной деформативности граничащих друг с другом строительных элементов. Такие трещины чаще всего образуются в стенах из кирпичной или каменной кладки, расположенных на железобетонных перекрытиях. Так как железобетон обладает большей пластичностью, чем кирпичная или каменная кладка, то при прогибе железобетонного перекрытия в находящейся на нем кладке образуются трещины.

4. Трещины, образованные в результате неравномерного оседания грунтового основания сооружения. Если из-за неоднородности почв или неодинаковой утрамбовки грунта происходит неравномерное оседание строительного сооружения, то в результате неизбежной деформации остова сооружения, образуются трещины. Неравномерные оседания часто происходят в зоне подземных работ, проводимых в непосредственной близости от сооружения, например при сооружении водопонизительных котлованов или производстве свайных работ во время строительства метро.

7.9.3. Основные требования, предъявляемые к ремонту трещин. Влияние трещин на надежность железобетонных конструкций зависит от их местоположения и условий воздействия окружающей среды. Трещина, находящаяся в зоне

растягивающих усилий, представляет опасность лишь для коррозионной защиты арматуры, а трещина в зоне сжатия может значительно уменьшить прочность бетона благодаря снижению его способности воспринимать напряжения сжатия и сдвига. В этом случае возможны касательные напряжения, в результате чего снижается надежность конструкции. В зависимости от местонахождения трещин применяют различные виды восстановительных работ: блокировка трещин в зоне растяжения или связующее заполнение трещин в зоне сжатия.

В обоих мероприятиях, как правило, используют инъецирование искусственных смол. Так как искусственные смолы обладают невысокой температурной стойкостью ($< 100^{\circ}\text{C}$), то надо проверить, не будет ли в случае пожара из-за разрушения полимера превышен предел прочности конструкции, и при необходимости предусмотреть дополнительные мероприятия по теплоизоляции в местах применения полимеров. Этого можно достигнуть, например, покрытием трещины слоем торкретбетона или изоляционными плитами. Если трещины ко времени ее заделки причиняют вред эксплуатационному состоянию конструкции, то дополнительные мероприятия нужны лишь в том случае, если при возникании пожара смола в трещине сможет разрушиться и возникшие в сооружении напряжения превысят предел прочности конструкции.

7.10. ДЕФЕКТЫ КОНСТРУКЦИЙ

Многие строительные повреждения в результате выхода из строя элементов являются следствием несовершенства конструктивного решения. Во многих причинах выхода из строя конструкций, о которых говорилось в предыдущих главах, значительную часть составляли конструктивные недостатки.

Одной из причин многочисленных и досадных случаев выходов из строя строительных конструкций является тот факт, что у нас вся ответственность за проектирование сооружений ложится на плечи архитекторов. Архитекторы, как правило, не в состоянии должным образом оценить и предусмотреть в проекте различные условия деформации строительного материала при определенном воздействии температур и нагрузок. При исполнении своих обязанностей он обращается к специалистам, которые должны оценить и решить все проблемы, связанные с качеством применяемых строительных материалов.

7.10.1. Расчетчик — инженер, который несет ответственность за определение размеров конструкции, т. е. за расчет отдельных поперечных сечений. Он должен гарантировать, что эти поперечные сечения в дальнейшем будут способны выдерживать действующие на них нагрузки, определенные в строительных нормах, с принятой надежностью.

Расчетчик должен действовать как конструктор, который на основе своих специальных

знаний строительных материалов (в частности, железобетона) определяет размеры конструкции, удовлетворяя при этом требования архитектора. Он не только должен предусматривать влияние таких факторов, как воздействие температуры, атмосферных осадков, окружающей среды и т. п., но и решать возникающие при производстве строительных работ проблемы установки опалубки, укладки арматуры и бетонирования. Исходя из технических и экономических соображений он выполняет требования, обеспечивающие долговечность конструкции.

7.10.2. Примеры конструктивных недоработок. При проектировании надо всегда учитывать три основные причины, которые могут в будущем привести к повреждениям:

- вода во всех ее агрегатных состояниях;

- температура, особенно прямая солнечная радиация;

- химическое агрессивное воздействие.

При разработке проекта конструкции обязательно надо уделять внимание двум обстоятельствам:

- способу производства работ, учитывая формы отдельных строительных элементов и прежде всего соотношения размеров поперечного сечения и содержания арматуры, т. е. характер укладки арматуры;

- способу выявления и устранения возникающих при эксплуатации сооружения повреждений и по возможности с наименьшими затратами.

В основном встречаются не грубые проектные ошибки, до-

пущенные при определении основных размеров конструктивных элементов сооружения, а ошибки, являющиеся следствием того, что в свое время не были предусмотрены возможные последствия вредных воздействий. Предусмотреть возможные вредные влияния (от интенсивной солнечной радиации летом до слишком низких температур зимой, от ливневых дождей до возможных воздействий средств, противодействующих обледенению), которые в течение года или многих лет могут воздействовать на строительное сооружение, — одна из наиболее существенных задач конструктора. В противном случае могут произойти неприятности (см. ниже типичные примеры).

При отапливаемом чердачном помещении конструкция крыши образует железобетонную ванну, состоящую из бетонного перекрытия последнего этажа здания и высоко поднятого аттика, жестко связанного с крышей. В то время как само перекрытие надежно защищено от сильных колебаний температур и тем самым от температурных расширений довольно толстым слоем изоляции и гравийной засыпкой, как правило, заполняемой водой, возведенный из бетонного перекрытия и жестко с ним связанный аттик подвергается сильным солнечным облучениям летом и суровым морозам зимой. Из-за больших перепадов температур значительные изменения размеров бетонного перекрытия и аттика должны вызывать сильные внутренние напряжения в местах соединения конструк-

тивных элементов и могут привести к образованию трещин.

Деформационные (температурные) зазоры между двумя железобетонными элементами должны быть такими, чтобы при экстремальных температурных расширениях не возникало бы дополнительных напряжений. Эти зазоры должны быть заполнены специальной мастикой, способной в течение длительного срока сохранять эластичность, с тем, чтобы предотвратить проникание в конструкцию атмосферных осадков. Применяемые «долговременно эластичные» уплотнительные массы в течение 5 — 10 лет сохраняют свою способность компенсировать деформацию элементов конструкции в зависимости от интенсивности и продолжительности воздействия солнечного облучения. После утраты уплотнителями эластичности могут возникать и постепенно возрастать внутренние напряжения, в результате которых происходят разрушения в компенсационных швах из-за атмосферных осадков. Если арматура в области этих швов не имеет достаточного слоя бетонного покрытия (3 см и более), то это может привести к растрескиванию бетона в стыках из-за внутренних напряжений и в результате к коррозии стали.

Без исчерпывающих знаний строительных материалов и прежде всего их способности выдерживать деформационные изменения, их стойкости в течение всего срока службы невозможно возвести строительные сооружения, лишенные конструктивных недостатков.

8. УЯЗВИМЫЕ УЧАСТКИ В РАЗЛИЧНЫХ ГРУППАХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Бетон с давних пор применяется для решения многих строительных задач в высотном, подземном строительстве и в инженерных сооружениях. В различных группах строительных объектов довольно часто возникают одни и те же повреждения. Ниже сделана попытка описания для ограниченного числа объектов наиболее типичных и часто встречающихся повреждений.

8.1. ФАСАДЫ

За последние десятилетия железобетон применяют в больших объемах при оформлении фасадов с четким мелкоструктурным членением. С течением времени и под воздействием окружающей среды (дым от сгорания нефтепродуктов, применяемых для отопления зданий, выхлопные газы автомобилей и т. п.) возрастает необходимость в ремонтно-восстановительных работах по устранению повреждений внешних поверхностей железобетонных фасадов.

Среди причин, обуславливающих интенсивное возрастание числа повреждений внешних железобетонных элементов, подверженных воздействию атмосферных влияний, в последние годы первое место занимает отслоение бетона в результате коррозии арматуры. Исследование причин повреждений из-за коррозии арматуры однозначно показывает, что растрескивание и отслоение бетона в подавляющем большинстве объясняются или от-

носительно малой толщиной, или недостаточной плотностью защитного бетонного слоя. Возрастающее число повреждений, которые объясняются несоблюдением минимально допустимых размеров, заложенных в DIN 1045, должно стать поводом для рассмотрения вопроса, достаточны ли эти размеры для обеспечения надежности железобетонных сооружений на срок службы более 50 лет при теперешних условиях воздействия окружающей среды.

В книге «Надежность бетонных сооружений» (1973 г.) приводится следующее высказывание инженера Шисля: «Для бетонов класса В 150 и В 250 установленные в DIN 1045 минимальные значения размеров толщины бетонного слоя недостаточны для обеспечения продолжительности срока службы свыше 50 лет для строительных элементов на открытом воздухе, но защищенных от прямого воздействия дождей. Для бетона класса В 150 средняя глубина проникания карбонизации по истечении указанного срока для 30 % всех обследованных случаев составляет 2 см бетонного слоя, для бетона класса В 250 для карбонизации 1,5 см. Требовать такого бетонного покрытия, которое с большой вероятностью гарантировало то, что пики карбонизационного фронта не достигали поверхности арматуры, представляется для железобетонных конструкций необоснованным, так как в местах образования трещин кор-



Рис. 25. Железобетонный фасад с мелкими деталями особенно подвержен коррозионной опасности

розия внешней поверхности стали в узко ограниченных областях не может быть предотвращена».

Развитие коррозии арматуры за последние годы показывает, что сделанные в приведенном высказывании выводы о том, что не требуется увеличения толщины бетонного покрытия, не совсем верны. Минимальные размеры защитного слоя бетона для плоских несущих систем на открытом воздухе, согласно DIN 1045, установлены для марки бетона В 15 толщиной в 2 см и для марки бетона В 25 толщиной в 1,5 см, но земельное строительное управление в Гамбурге и земли Северный Рейн — Вестфалия недавно установило для всехстроек на территории своих земель, подверженных воздействию атмосферных осадков, минимальную толщину защитного слоя бето-

на в 3 см. Так как это требование должно соблюдаться лишь при возведении новых строительных объектов, возникает вопрос, какие существуют возможности увеличить толщину защитного слоя бетона у старых сооружений, где уже имеются повреждения из-за недостаточного бетонного покрытия? Во-первых, можно нанести слой бетона соответствующей толщины методом торкретирования. Во-вторых, там, где по техническим причинам это невозможно осуществить (например, из-за увеличения массы и сечения строительного элемента), или же из соображений экономического характера (например, при отдельных незначительных дефектах), устранение повреждений внешних поверхностей может производиться раствором на основе синтетических смол или же с помощью цементного раствора,

обогащенного полимерными материалами. В-третьих, коррозионной и карбонизационной защитой может служить нанесенная на внешние поверхности краска на основе акриловой смолы (затормаживание процесса карбонизации).

Чтобы задержать процесс развития карбонизации и не допустить ее проникания до арматурных стержней, при недостаточной толщине бетонного покрытия наряду с применением материалов на основе цементосвязывающих компонентов могут применяться также материалы на основе синтетических смол.

В то время как при применении торкретбетона для восстановления бетонных покрытий не возникает никаких

проблем, при использовании для этих целей растворов и покрытий на основе синтетических смол из-за существенных различий качеств бетона и синтетических смол возникает целый ряд технических затруднений, а в некоторых случаях это противоречит нормам пожаробезопасности. Восстановление бетонных строительных элементов с помощью материалов на основе синтетических смол является задачей бетонщиков, а не маляров. Производство таких работ должно поручаться в основном специализированным фирмам, которые имеют в своем распоряжении высококвалифицированный персонал с достаточным опытом в области восстановления бетона и применения синтетических смол для этих целей.

8.2. БАЛКОНЫ

Балконные плиты из железобетона особенно сильно подвержены коррозионной опасности. Эти горизонтально расположенные железобетонные плиты, подверженные воздействию атмосферных осадков, пропитываются влагой, так как в большинстве случаев отсутствует гидроизоляция наружных поверхностей. Относительно тонкие плиты зимой быстро промерзают насквозь, что со временем приводит к образованию трещин и отслоению бетона — типичному явлению воздействия отрицательных температур. Если есть гидроизоляция, то она может играть негативную роль, так как при отсутствии 100%-ной гарантии защиты от влаги она скорее



Рис. 26. Мелкие повреждения могут быть устранены цементным раствором, обогащенным синтетическими полимерами

повышает, чем снижает содержание воды в плитах. При дожде вода через имеющиеся неплотности в наружных поверхностях может проникнуть внутрь плиты и, благодаря капиллярности бетона распространиться по сечению панели. При сухой погоде панели с гидроизоляцией высыхают гораздо медленнее, чем бетонные элементы без изоляции, так как гидроизоляция препятствует испарению воды, содержащейся в бетоне.

Стальные стойки перил, расположенные по краям бетонных плит, также способствуют повреждениям панелей. При имеющейся изоляции между сталью и бетоном, которая порой не способна выполнять в течение длительного времени свое назначение, вода может просачиваться в имеющиеся в этих местах трещины. Сталь, находящаяся в бетоне, может начать корродировать, так как там ее нельзя защитить с помощью нанесения краски. Внутреннее давление, возникающее в результате образования продуктов коррозии стали, вызывает растрескивание бетона на краях балконной плиты, в местах заделки стоек перил в бетон.

Очевидно, что края балконных панелей особенно подвержены разрушающему воздействию отрицательных температур и коррозионной опасности, так как, во-первых, вся вода, собравшаяся на балконе, стекает через края панели и при небольшой плотности наружной поверхности бетонного слоя может проникать внутрь плиты, и, во-вторых, при воз-

действии низких температур ее края могут промерзнуть с трех сторон.

Восстановление балконных панелей из железобетона производится таким же образом, как и восстановление железобетонных фасадов, с той лишь разницей, что в каждом случае на верхней поверхности панели предусматривают соответствующую гидроизоляцию стоек перил, используя для этих целей плотно пригнанные защитные манжеты и мастику, сохраняющую в течение длительного срока свою эластичность.

8.3. БЕТОННЫЕ СООРУЖЕНИЯ С ЗАПОЛНИТЕЛЕМ ИЗ КИРПИЧНОГО ЩЕБНЯ

В годы после второй мировой войны скопившийся на улицах городов строительный мусор в больших объемах использовался как заполнитель для бетона и железобетона. Для этих целей после отсортировки компонентов, вредных для бетона и стали, таких как гипс (сульфаты) и обломки ксилолитовых полов (магнезия), а также от органических материалов, таких как древесина и уголь, в установках для дробления и грохочения приготавливался кирпичный щебень. Полученный таким способом заполнитель использовался не только для изготовления бетонной подготовки, но также и для обычного бетона. Для переработки и получения этого материала в то время существовали DIN 6163, которые в настоящее время отменены.

В бетонных строительных элементах, изготовленных на

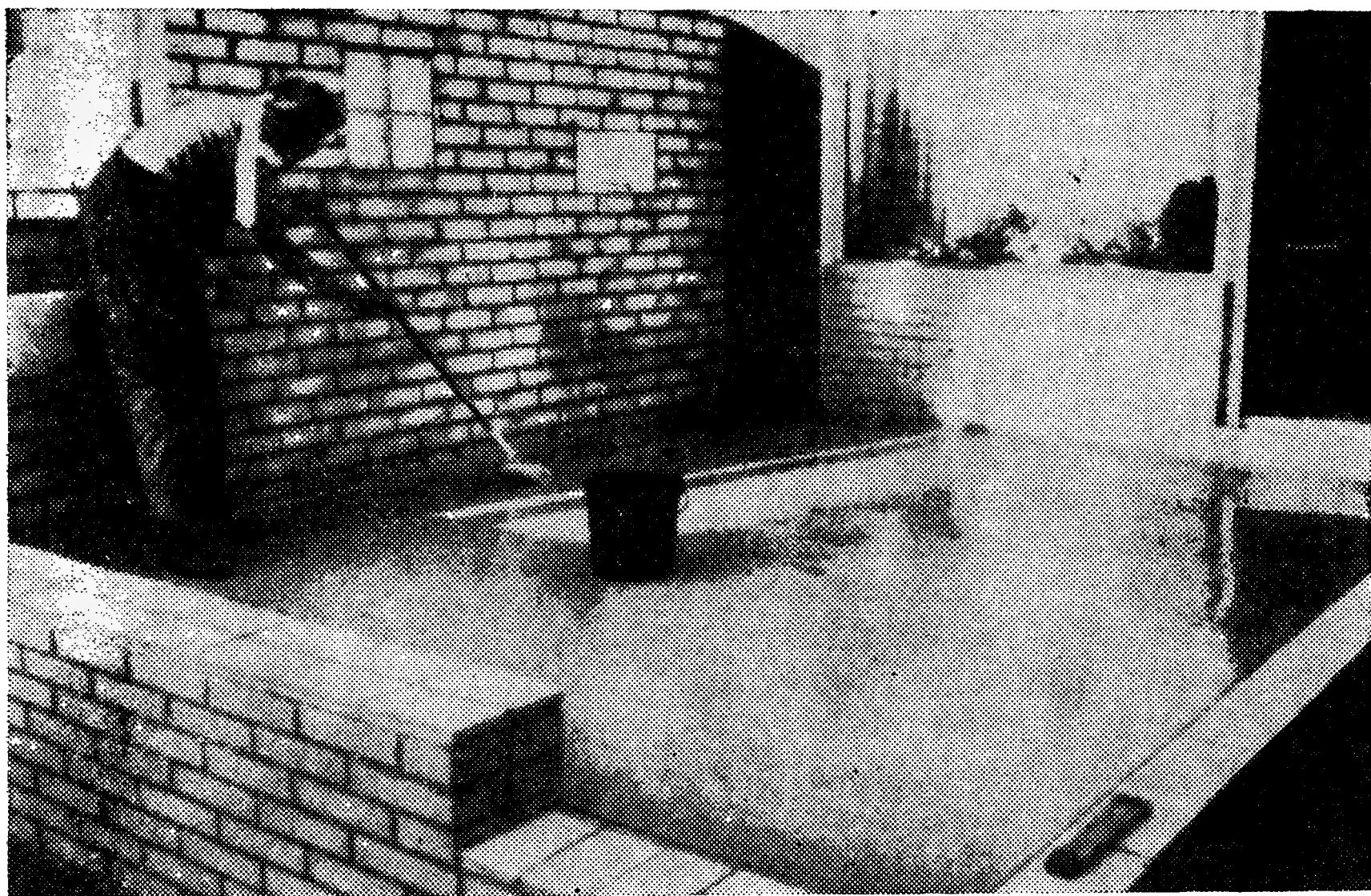


Рис. 27. На верхней поверхности балконных плит предусматривается специальная уплотняющая изоляция, по которой можно ходить

основе щебня из строительного мусора, спустя более 20 лет стали возникать коррозионные повреждения. Причина повреждений заключается, во-первых, в том, что полученный из строительного мусора щебень состоит из смеси различных строительных материалов с разными коэффициентами теплового расширения (кирпич, натуральный камень, раствор, бетон); во-вторых, при таком способе получения щебня не исключено наличие примеси вредных веществ. Строительные конструкции, построенные после войны из такого материала, сегодня большей частью не соответствуют не только DIN1045 (бетон), но и DIN 4219 (легкий бетон). То, что повреждения этих строительных элементов начались лишь недавно, можно объяснить тем, что они были оштукатурены,

т. е. предотвращению коррозии способствовало нанесение плотного слоя штукатурки с последующей окраской.

Естественно, особенно подвержены разрушению элементы, изготовленные из бетона на кирпичном щебне, находящиеся с наружной стороны сооружения и подвергаемые влияниям атмосферных воздействий, равно как и элементы, состоящие из двух слоев, полученных нанесением штукатурки на опалубку, оставшуюся на своем месте после бетонирования и выполняющую роль основания под штукатурку. Здесь в течение многих лет могут незаметно протекать не обнаруживаемые под слоем штукатурки скрытые коррозионные процессы в незащищенных несущих конструкциях железобетонных перекрытий, которые значительно снижают несущую спо-

способность перекрытия. Типичным для строительных элементов из бетона с заполнителем на основе кирпичного щебня является быстрый процесс карбонизации, который спустя 15 — 20 лет местами достигает глубины 5 см и более.

Для восстановления бетонных конструкций на основе кирпичного щебня и строительного мусора необходимо полностью удалить пораженный бетон, обнажив насколько возможно арматуру, и покрыть конструкцию торкретбетоном с высоким содержанием цемента. Благодаря нанесению слоя торкретбетона соответствующей толщины можно создать надежную защиту, предотвращающую карбонизацию, коррозию стали и бетона. При этом слой бетона, регламентированный в DIN1045, недостаточен; из-за высокой пористости и низкой сопротивляемости процессу карбонизации кирпичного щебня допустимые размеры бетонного слоя должны быть увеличены по крайней мере на 2 см.

8.4. МОСТОВЫЕ СООРУЖЕНИЯ

В результате проводимой в течение десятилетий реконструкции и нового строительства сегодня в ФРГ имеется прекрасно выполненная и технически хорошо оснащенная дорожная сеть. Основу этой транспортной системы образуют инженерные сооружения, и здесь прежде всего нужно выделить стальные и железобетонные мосты из предварительно напряженного железобетона.

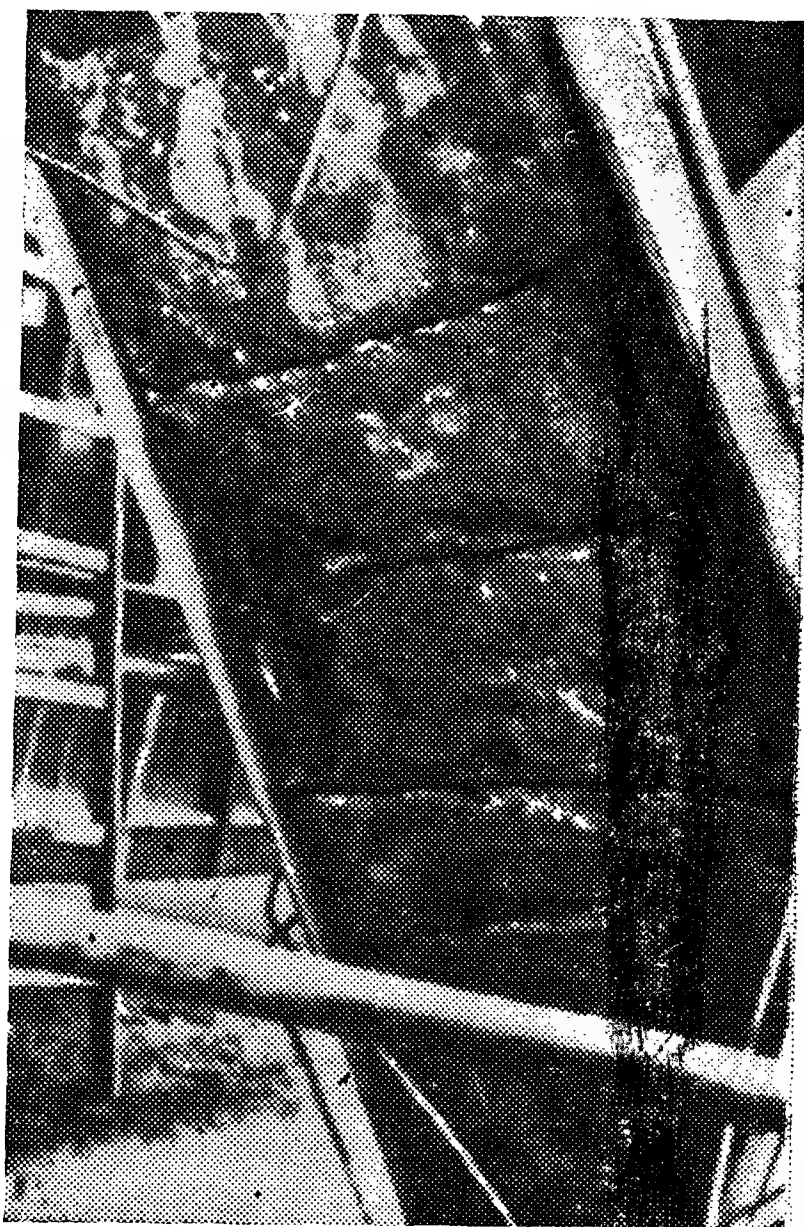


Рис. 28. Железобетонные мосты нуждаются в техническом обслуживании

В годы интенсивной реконструкции, когда в условиях стремительной автомобилизации строительству транспортной системы придавалось более важное значение, нежели сохранению уже существующих сооружений, необходимость содержания этих сооружений в надлежащем состоянии как с архитектурной, так и с конструктивной точек зрения отошла на задний план.

Увеличивающийся возраст транспортных сооружений и постоянно возрастающие в последние годы вредные воздействия транспорта и окружающей среды принуждают сегодня уделять вопросу долговечности и затратам на техническое обслуживание мостовых конструкций гораздо большее внимание. В будущем следует

отдавать предпочтение тому проектному решению нового строительного объекта, которое предусматривает меньшие затраты на техническое обслуживание и более простую эксплуатацию объекта, нежели предложению, на первый взгляд, экономически более выгодному. Что касается уже существующих строительных объектов, то даже при проведении сложных восстановительных работ зачастую невозможно полностью выполнить нормы и правила, составленные для новых строительных сооружений.

Огромное число бетонных мостов в ФРГ (примерно 50 000) остро нуждается в проведении восстановительных работ и обновлении. За последние 10 лет негативные влияния на мостовые строительные сооружения возросли в устрашающем объеме. Имеются в виду не только химические атмосферные воздействия, но и прежде всего применение средств, предотвращающих обледенение, которыми зимой посыпают дорожное полотно в концентрациях, наносящих ущерб мостовым сооружениям. Так как до сих пор не удалось создать менее агрессивные и более доступные по стоимости материалы, то в будущем нужно быть готовым к негативным явлениям, обусловленным применением средств, предотвращающих обледенение.

Применение соли в борьбе с гололедами на основе опыта США было начато в ФРГ лишь с середины 60-х годов. Для этих целей использовалась преимущественно каменная соль (хлорид натрия NaCl). Опыт

выявления и устранения повреждений, обусловленный воздействием соли, может лишь теперь быть в достаточной мере обобщен и оценен. Можно с уверенностью сказать, что применение соли в будущем доставит нам много хлопот. Известные случаи выхода из строя сооружений показали, что главную проблему представляет не столько коррозия бетона, сколько угроза проникновения хлоридов в арматурную сталь.

В 1970 г. во время инспектирования 305 железобетонных мостовых сооружений исследовались последствия почти десятилетнего воздействия средств, предотвращающих обледенение, на соляной основе на конструкции мостовых сооружений из бетона марок от В300 до В450 (по DIN1045). Были получены следующие данные: в 113, т. е. в 37 % обследованных объектов, была зафиксирована коррозия арматуры; в 158 сооружениях, т. е. в 52 %, были обнаружены повреждения в различных масштабах, обусловленные сочетанием воздействий отрицательных температур и соляных растворов, применяемых для таяния льда.

Уже давно известно, что применение средств на соляной основе, предотвращающих обледенение, наряду с позитивными результатами имеет и негативные последствия, обусловленные свойством хлорида натрия способствовать коррозии металла. Негативные последствия применения средств, предотвращающих обледенение, обсуждались с точки зрения возможных коррозионных повреж-

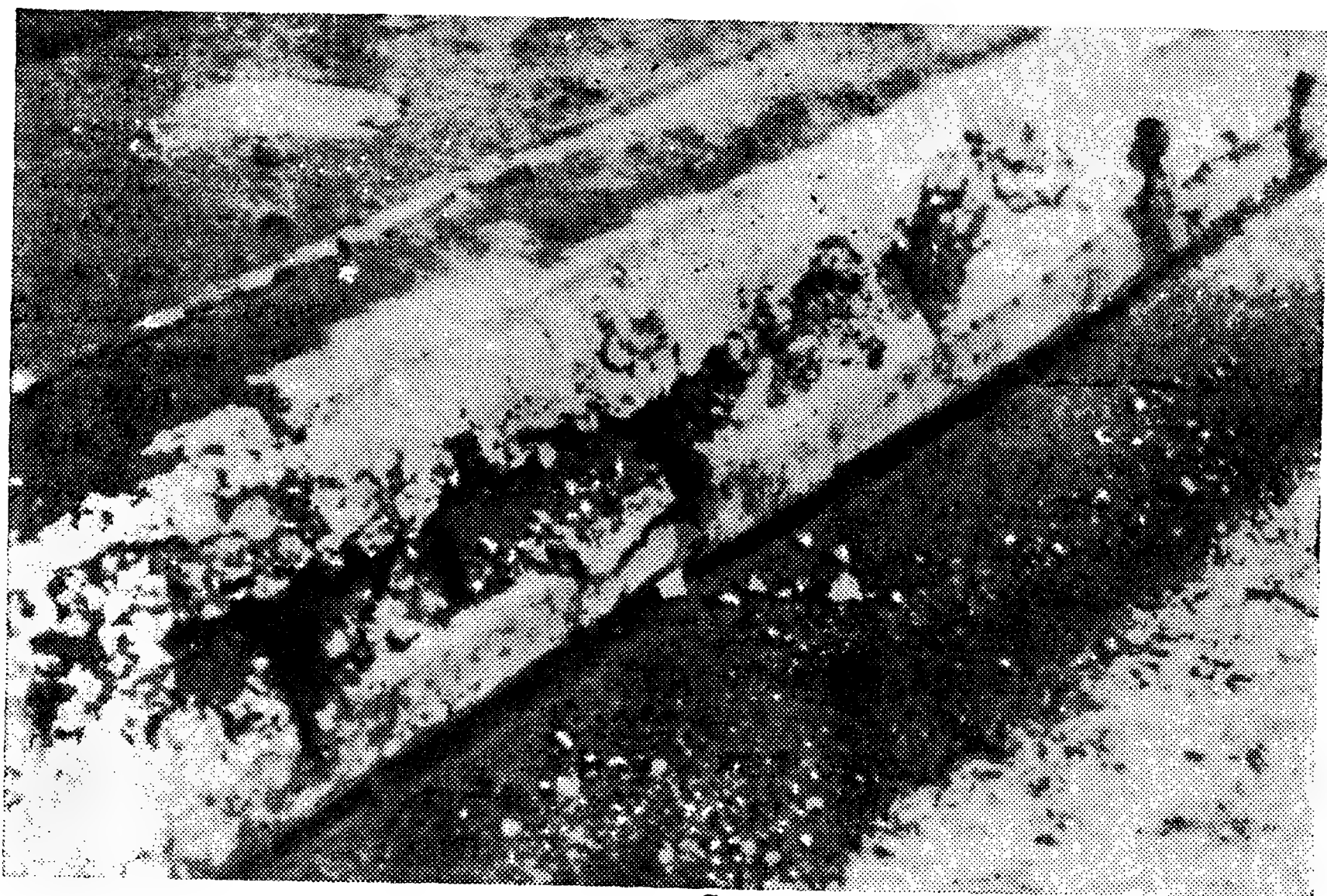


Рис. 29. Повреждение пролетного строения моста в результате воздействия средств, предотвращающих обледенение

дений транспортных средств и с точки зрения грунтовых вод, а действие хлорида натрия на железобетонные мостовые сооружения не учитывалось. Это объясняется бытующим мнением (которое, кстати, уже опровергнуто), что изготовленный по всем правилам железобетон из бетона марки не ниже В300 (по DIN1045) является морозоустойчивым, а при наличии в нем воздушных пор — устойчивым и к воздействию средств, предотвращающих обледенение.

Такая ошибочная точка зрения привела к тому, что в первые годы после войны мосты из предварительно напряженного железобетона сооружались без гидроизоляции между бетоном несущих конструкций и настилом проезжей части.

Если в результате изготовления плотного, высококачественного бетона можно достичь значительной стойкости его к воздействию отрицательных температур и средств, предотвращающих обледенение, то все же расположенная в бетоне сталь не защищена от коррозии. Только в том случае защита арматуры гарантирована, если вся конструкция в целом изготовлена так, что исключена всякая возможность контакта стали с соляными растворами. Часто ошибка при оценке стойкости железобетонных конструкций мостовых сооружений к воздействию отрицательных температур и средств, предотвращающих обледенение, заключается в том, что данные выборочного контроля качества бетона берут за основу и распространяют их на все

сооружение в целом, чего нельзя делать. При возведении мостовых сооружений образуются бетонные поверхности, на которых иногда не обеспечена требуемая плотность бетона или защитный слой имеет не везде достаточную толщину. В результате на этих поверхностях появляются трещины.

Достаточно иметь одно единственное место с неудовлетворительной плотностью защитного слоя бетона, через которое соляной раствор может проникнуть к арматуре, чтобы создать угрозу всему мостовому сооружению. Уложенная на поверхность бетона несущих конструкций гидроизоляция может быть выполнена достаточно хорошо и надежно работать в течение 10 лет в тяжелых постоянно изменяющихся условиях автодорог, но все же в деформационных швах, водоприемных канавах и т. п. могут образоваться отдельные отверстия или трещины, через которые солесодержащие растворы будут поступать к железобетону.

Повреждения железобетонных мостовых сооружений в результате коррозии стали становиться заметными лишь тогда, когда образуется такое количество продуктов коррозии, которое вызывает отслоение и отпадание бетона. Этот процесс в зависимости от интенсивности образования продуктов коррозии и прочности бетонного покрытия может длиться десятилетиями. Однако можно с уверенностью сказать, что из года в год число повреждений конструкций будет увеличиваться.

Влияние конструктивного решения на стойкость к агрессивным воздействиям. Немаловажными факторами возможных повреждений железобетонных мостов считают тип конструкции и принимаемые защитные меры. Мосты из предварительно напряженного железобетона наиболее подвержены опасности ввиду большой расположенности к коррозии арматурных стержней малого сечения, нежели конструкции из обычного железобетона.

Гидроизоляция бетонных конструкций. Для того чтобы мостовые сооружения могли выполнять свои функции в течение десятилетий, они должны иметь надежную и функционирующую в течение длительного времени гидроизоляцию. Бытующая ранее точка зрения, что высококачественные бетоны в мостовых сооружениях из предварительно напряженного железобетона могут надежно работать в условиях воздействия агрессивных сред без всякой гидроизоляции, оказалась дорогостоящим заблуждением. Все сооруженные в послевоенные годы мосты из предварительно напряженного железобетона были выполнены без гидроизоляции, и позже оснащались ею со значительными затратами, а мост Авуса в Берлине был снесен вообще. Защитными материалами служили битумная мастика, армированная стеклотканью, или металлические рифленые ленты. Сверху накладывался защитный слой из литого асфальта, а на него дорожное покрытие.

Наиболее слабыми местами

любой гидроизоляции являются стыки в сопряжениях конструкции, в компенсационных швах и водоприемниках. Из-за динамических нагрузок от транспорта такие места даже при тщательном выполнении становятся наиболее вероятными для начала коррозионных процессов.

При тщательном производстве работ уже в течение года может наступить непосредственное воздействие растворов хлорида натрия на бетон мостовых панелей, поэтому все в больших объемах практикуют нанесение дополнительного покрытия на основе эпоксидной смолы на верхнюю поверхность бетона проезжей части моста. Так как эти уплотнительные слои подвергаются воздействию температур до 150°C в результате последующего нанесения на них расплавленной битумной мастики, то применяемые для уплотнительных слоев материалы должны удовлетворять специальным требованиям.

Части дорожного полотна, по которым нет движения транспорта (например, ограждающие бордюры мостов), могут также подвергаться опасности разрушения, в результате воздействия агрессивных растворов. Такие части дорожного полотна, как правило, имеют многослойную антикоррозионную защиту, представляющую собой синтетический полимер на базе эпоксидной или акриловой смол.

Требования к защитным антикоррозионным покрытиям достаточно специфичны. Защитный слой с одной стороны

должен быть плотным, чтобы предотвратить проникание агрессивных растворов в бетон, а с другой стороны, он должен быть паропроницаемым, чтобы не препятствовать выходу воздуха и газов при солнечной радиации и не образовывать вздутий. Он должен быть довольно эластичным, чтобы при температурных расширениях не образовывались трещины. Однако следует иметь в виду, что благодаря различным свойствам бетона и синтетической смолы (например, коэффициент теплового расширения и модуль упругости этих материалов разнятся между собой по меньшей мере в 10 раз) такой защитный слой может иметь ограниченный срок службы, и через определенные промежутки времени должен обновляться.

Влияние динамических нагрузок на прочностные характеристики материала. Бетон, так же как и другие материалы, воспринимает динамические нагрузки хуже, чем статические. Если усталостная прочность бетона мостового сооружения будет достаточна для восприятия ожидаемого общего числа циклов нагрузки, то все равно постоянно действующие динамические нагрузки в течение длительного времени непременно вызовут определенное изменение микроструктуры в цементном камне. Так как к этому добавляются разрушения структуры бетона в результате агрессивного воздействия средств, предотвращающих обледенение, то суммарный результат этого воздействия будет более ощутимым,

чем в сооружениях со статической нагрузкой.

Влияние защитного слоя бетона на надежность конструкции Так как коррозионную защиту расположенной в бетоне стали выполняет окружающий ее бетон, то толщина его слоя играет важную роль. Нормы проектирования, определяющие размеры и конструкцию массивных мостов, предусматривают увеличение защитного слоя бетона в мостовых сооружениях на 0,5 см, а для строительных элементов, подвергаемых воздействию агрессивных растворов, — на 1 см.

Действенность защиты стали зависит и от плотности бетона. Плотность поверхностного слоя бетона может быть значительно ниже плотности остального бетона вследствие перенасыщения водой верхнего слоя цементного раствора при интенсивной поверхностной вибрации. С другой стороны, это может быть также следствием слишком сильного водоотсоса при высокой поглощательной способности опалубки. Низкая плотность защитного слоя бетона приводит к тому, что он относительно легко пропускает агрессивные растворы к металлическим элементам, в результате чего начинается процесс коррозии.

Часто бывает, что наиболее тяжелые коррозионные повреждения происходят при качественном защитном слое бетона. Это объясняется следующим. Раствор хлорида натрия через изъяны гидроизоляции проникает внутрь мостовых конструкций. Просачиваясь

сквозь бетон и войдя в соприкосновение с арматурой, он неизбежно вызывает коррозию стали. Такие процессы происходят под настилом проезжей части или внутри мостового сооружения, поэтому они обнаруживаются лишь при отслоении бетонного покрытия в результате внутреннего давления из-за увеличенного объема образующего продукта коррозии. Мосты с более качественным защитным слоем бетона претерпевают наиболее существенные повреждения. Это объясняется тем, что при небольших размерах защитного слоя бетона начинающиеся процессы коррозии обнаруживаются быстрее, и он не успевает стать опасным для поперечного сечения стали; при более толстом защитном слое процесс коррозии обнаруживается гораздо позже, и в результате поперечное сечение арматуры бывает значительно ослаблено и надежность конструкции существенно снижена.

Такое положение представляет наибольшую опасность для мостов из предварительно напряженного железобетона, так как применяемая в таких конструкциях арматура имеет меньшее поперечное сечение и может прокорродировать гораздо быстрее, чем при арматурных стержнях больших диаметров, применяемых в обычном железобетоне.

Защитные меры и их профилактика в мостовых сооружениях. Для того чтобы свести до минимума последствия повреждений из-за применения средств на соляной основе, необходимо следующее:

через определенные промежутки времени осуществлять при необходимости восстановительные работы по защите участков автодорожных мостов, которые могут быть подвергнуты разрушающему воздействию средств, применяемых для борьбы с гололедом;

совершенствовать методы контроля с целью своевременного обнаружения мест повреждений железобетонных мостов, главным образом, под настилом проезжей части и внутри мостовых конструкций;

по возможности на более ранней стадии обнаруживать дефекты и проводить ремонтно-восстановительные работы на поврежденных гидроизоляциях и несущих конструкциях.

Промышленность предлагает большой выбор материалов для защиты бетонных конструкций от проникания соляных растворов. Эти материалы можно укладывать на поверхность бетона полотнами и впоследствии сваривать друг с другом или наносить в несколько слоев с уплотнением катками. При этом требуется тщательная подборка материалов и выбор способа нанесения покрытий к конкретным условиям строительства.

Совершенствование методов контроля с целью своевременного выявления возникающих повреждений является одной из основных задач службы строительства дорожных сооружений. Регулярная техническая ревизия мостовых сооружений должна производиться в строгом соответствии с DIN 1076 «Дорожно-транспортные инженерные сооружения;

надзор и контрольные испытания».

Для производства ремонтно-восстановительных работ на сегодняшний день имеется целый ряд испытанных на практике строительных методов. В первую очередь, следует удалить весь разрушенный или частично ослабленный участок бетона. В зависимости от результатов проведенного обследования по содержанию хлоридов в бетоне и от степени корродирования арматурной стали, находящейся в зоне хлоридного поражения, решается вопрос об объеме удаления бетона. После удаления поврежденного слоя бетона очищенные участки должны быть заполнены торкретбетоном, при необходимости недостающая часть арматуры должна быть восполнена.

Для устранения мелких дефектов можно применять растворы на основе полимерных материалов и цементные растворы с включением полимерных компонентов.

Торкретбетон, наносимый на ремонтируемые участки, должен соответствовать классу бетона на этих участках и удовлетворять требованиям DIN 1045. На завершающем этапе производства ремонтно-восстановительных работ все элементы конструкции, которые могут быть подвергнуты прямому воздействию агрессивных растворов, притом не только участки со старым бетоном, но и с вновь нанесенным торкретбетоном и полимерными растворами, должны быть защищены от возможного воздействия агрессив-

ных средств защитными покрытиями.

8.5. БЕТОННЫЕ КАНАЛИЗАЦИОННЫЕ СООРУЖЕНИЯ

8.5.1. Проблема. Для удаления бытовых и промышленных сточных вод каждый населенный пункт нуждается в системе канализационных коммуникаций.

Постоянно возрастающая потребность в воде наряду с возросшими требованиями по защите окружающей среды вынуждают органы управления коммунальным хозяйством к развитию существующей канализационной системы, часть которой сооружена еще в прошлом столетии. Для сооружения канализационных коллекторов и очистных сооружений в течение многих десятилетий применяется бетон. Очевидны его экономические и технологические преимущества при производстве строительных работ, а также с точки зрения долговечности и стойкости к различным агрессивным воздействиям при эксплуатации. Свойства и качества бетона должны соответствовать требованиям DIN 4030 «Определение агрессивных свойств воды, наносящей ущерб бетону» и DIN 1045 (разд. «Водонепроницаемый бетон» и разд. «Бетон с высокой сопротивляемостью к химическим воздействиям»).

При соблюдении требований DIN и выполнении технических и технологических мероприятий при сооружении бетонных объектов можно достичь значительного повышения

стойкости бетона в условиях эксплуатации в канализационных системах. Однако даже тщательным образом изготовленный и обработанный бетон в особых условиях канализационных сооружений, где может возникнуть опасная концентрация агрессивных веществ, особенно кислот, не сможет долго противостоять их воздействию без проведения соответствующих защитных мероприятий.

Между типом конструкции, правильностью эксплуатации и степенью воздействия химико-физических факторов на примененный строительный материал существует целый комплекс причинных связей. Изменения химического состава сточных вод, связанные с развитием производства, а также изменившиеся условия эксплуатации очистных сооружений в результате их централизации привели к тому, что в ФРГ можно обнаружить разрушение бетона серной кислотой в воздушном пространстве канализационных сооружений. Ранее такое встречалось очень редко и только в жарких странах (например, в Австралии).

8.5.2. Причины появления повреждений. Появление повреждений в огромных масштабах в результате причин, которым не придавали особого значения, привело к дискуссиям по их поводу и к поиску средств и разработке защитных и восстановительных мероприятий в бетонных канализационных системах. Ниже описаны важнейшие виды агрессивных воздействий на бетон и вытекающие из этого

проблемы, возникшие в последние годы при эксплуатации канализационных систем.

Химические воздействия извне (грунтовые воды, разрушающие бетон). Бетонные трубы достаточно часто подвергаются химическому воздействию извне. Поэтому перед укладкой их в грунт должны быть выявлены все агрессивные вещества, которые могут содержаться в почве и грунтовых водах. Под агрессивными веществами подразумеваются главным образом сульфатосодержащие (болотные) воды, а также агрессивные кальциевые воды, содержащие углекислый газ. Разрушения часто происходят в бетонных каналах, расположенных в массах доменного шлака или под ними. Атмосферные осадки вымывают содержащиеся в шкале сернистые соединения, и образовавшиеся сульфатные воды разъедают бетон. Однако вредное сульфатное воздействие может быть нейтрализовано применением бетона на основе сульфатостойкого цемента. При кислотном воздействии помогает применение особо плотного бетона, дополнительно покрытого защитной краской или защитным слоем необходимой толщины.

Если нанесение дополнительного покрытия на наружную поверхность уже существующего бетонного канала невозможно, то создают дополнительную защитную оболочку вокруг канала целенаправленной инъекцией специального раствора с внешней стороны канала или через пробуренные скважины изнутри. Такое ме-

роприятие может предотвратить доступ агрессивных вод к бетону или по крайней мере снизить его до размеров, не представляющих угрозу бетону.

Химические воздействия изнутри (сточные воды, разрушающие бетон). Выводимые через канализационные трубопроводы сточные воды различны по составу. Содержащиеся в них агрессивные компоненты могут воздействовать на бетонные поверхности трубопроводов, и в конце концов полностью их разрушить. В то время как бытовые сточные воды представляют небольшую опасность для каналов, попадающие в промышленные сточные воды агрессивные отходы производства (прежде всего кислоты) наносят значительный ущерб канализационным сооружениям, разрушая бетон. Поэтому необходим постоянный контроль сточных вод, главным образом, вод промышленных предприятий с типично агрессивными отходами (гальванические участки, кожевенные заводы, мясо- и рыбоперерабатывающие комбинаты, химические предприятия и т. п.).

В то время как изготовленный по всем правилам и нормам бетон, расположенный в коллекторах ниже уровня воды, удовлетворяет требованиям, предъявляемым к городским канализационным сооружениям, и выдерживает воздействие сточных вод, в последнее время все чаще встречаются повреждения бетона над уровнем воды в области заполненного парами сточных

вод пространства. Анализ причин появления этих повреждений позволил сделать вывод, что их причиной являются сероводородные газы, выделяющиеся при разложении сточных вод. Увеличение объема выделения сероводорода из сточных вод обусловлено различными причинами. С одной стороны, изменился состав бытовых сточных вод в результате все большего применения сульфатосодержащих стиральных порошков и моющих средств, с другой стороны, в новых огромных магистральных коллекторах создались более благоприятные условия для выделения сероводорода в результате процесса брожения сбрасываемых веществ. Созданы все условия для процесса разложения сточных вод, а именно: относительно высокая температура, малая скорость течения и недостаток доступа кислорода. Такие условия создаются, как правило, в больших магистральных коллекторах, где постоянная температура воздуха обусловлена их глубоким залеганием, ограничен доступ кислорода и благодаря широкому использованию открытых водосборников создается малая скорость течения сточных вод.

Образование серной кислоты в сточных водах происходит следующим образом. В сточных водах сера находится в растворенном виде в химически связанном состоянии. В результате бактериального разложения серосодержащих органических веществ (например, белков) образуется сероводородный газ (H_2S), кото-

рый скапливается в воздушном пространстве над уровнем водяного зеркала. При соединении кислорода с воздухом происходит окисление сероводорода, в результате чего образуется сернистая кислота, а затем серная кислота (H_2SO_4). В этом процессе существенную роль в качестве катализаторов играют тиобациллы, содержащиеся в атмосфере канализационных коллекторов.

Конденсат, оседающий на стенки коллекторов, а точнее, в порах бетона, превращается в серную кислоту различной концентрации.

В то время как сам сероводород не воздействует на бетон как в газообразном, так и в растворенном виде, серная кислота является сильно агрессивным средством и разрушает бетон снаружи и более интенсивно, находясь в его порах.

Проблемы, возникающие при нанесении покрытий на внутренние поверхности канализационных каналов. Анализ коррозионных разрушений, все более часто встречающихся в последнее время в канализационных коллекторах, показывает, что нанесение защитного покрытия с целью предохранения бетона от коррозии при недостаточно продуманном их применении может дать результат, противоположный ожидаемому. Нанесение защитного слоя может оказать решающее воздействие на жизнедеятельность тиобактерий, которые играют существенную роль в разрушении бетона. Благодаря их наличию создаются благоприятные условия

для образования концентрированной, т. е. более агрессивной серной кислоты.

Тиобактерии являются микроорганизмами, которые существуют за счет усвоения сернистых соединений (прежде всего, сероводорода H_2S), образующихся при разложении белковых продуктов. Эти соединения в результате окисления могут становиться все более агрессивными для бетона, и в конце концов из этих соединений образуется серная кислота, оказывающая сильное разрушающее воздействие на бетон.

Для этих бактерий температура глубоко расположенных канализационных коллекторов создает идеальные условия для их жизнедеятельности, но развиваться эти бактерии могут лишь в условиях слабощелочной или нейтральной среды. Это объясняет тот факт, что разрушение находящейся над поверхностью воды части канализационной трубы, покрытой защитным слоем, происходит гораздо интенсивней, чем незащищенной поверхности. В то время как незащищенные бетонные поверхности являются щелочной средой, т. е. неблагоприятным жизненным условием для развития тиобактерий, защитный слой бетонных поверхностей создает нейтральную среду, т. е. благоприятные условия для жизнедеятельности тиобактерий, в результате которой вырабатывается сернистая кислота. При тонком слое защитного покрытия и при соответствующих благоприятных условиях, процесс разрушения бе-

тона серной кислотой протекает гораздо интенсивней главным образом в местах, где имеются дефекты покрытия, затем с обратной стороны защитного слоя происходит его разрушение и последующее разрушение уже незащищенного бетона.

В других случаях применяемое для защиты бетона от воздействия серной кислоты покрытие на основе дегтевой эпоксидной смолы значительно ускоряет процесс разрушения бетона. При этом возникают следующие проблемы.

Если покрытие полностью паронепроницаемо, то возникает опасность, что проникшая за покрытие жидкость при испарении может создать давление, в результате чего может произойти отслаивание покрытия. Если защитное покрытие паропроницаемое, то диффундирующие через слой изоляции пары сероводорода растворяются в водном конденсате пор бетона, окисляясь, превращаются в серную кислоту и разрушают бетон уже за слоем этого покрытия. В противоположность бетонным поверхностям, не имеющим защитного покрытия, образовавшиеся под слоем покрытия сернистые кислоты не могут смываться постоянно образующимся водным конденсатом. При неблагоприятных условиях в защищенных областях бетонных поверхностей могут произойти гораздо более сильные разрушения, чем в незащищенных.

8.6. ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

Бетонные и железобетонные гидротехнические сооружения в результате механических и химических воздействий, как правило, испытывают более высокие нагрузки, чем обычные бетонные сооружения, работающие на суше. В наиболее тяжелых условиях находится бетон, расположенный в так называемой зоне переменного увлажнения, который попеременно подвергается воздействию воды и воздуха. Основными требованиями, определяющими стойкость бетона, подвергаемого в течение длительного времени воздействиям воды, а также сезонных и погодных изменений, являются следующие:

водонепроницаемость (глубина проникания воды менее 3 см), различие между водонепроницаемым и водопроницаемым бетоном определяется по DIN 1045;

относительно высокое содержание цемента в бетоне (более 330 кг/м³).

Если не соблюдено хотя бы одно из требований, то это может привести к отслоению защитного слоя бетона или к его коррозии. Причина разрушения бетона, как правило, складывается из многих факторов, действующих в совокупности или в определенной последовательности, воздействуя друг на друга, что приводит к разрушению бетона. Наиболее значительными являются следующие:

механические воздействия: течение, абразивное воздействие песка и льда, удары плавучих средств, внут-

реннее давление льда в результате замерзания проникшей в бетон воды;

физические нагрузки: перегрузки, удары волн, внутренние напряжения, обусловленные большим перепадом температур между нагреваемой солнечными лучами надводной частью бетонной конструкции и подводной частью;

химические воздействия: хлоридные и сульфатные компоненты морской воды, дизельное топливо и прочие загрязнения, содержащиеся в водах акватории гавани.

Совокупность этих факторов в комплексе воздействующих на бетон, особенно для морских сооружений, предъявляет к нему повышенные требования. В первую очередь, нужно выделить химическое воздействие хлоридных компонентов морской воды, представляющих наибольшую опасность для арматурной стали. Железобетонные строительные сооружения, подверженные воздействию морской воды, могут в течение долгого времени сохранять свою прочность лишь в том случае, если обеспечена соответствующая плотность и толщина защитного слоя бетона.

Наиболее уязвимым местом железобетонной конструкции является арматура, находящаяся в зоне переменного уровня. Элементы конструкции, расположенные под водой, в значительной степени защищены от карбонизации из-за недостатка окиси углерода и от коррозии благодаря отсутствию кислорода воздуха. Бетон, расположенный в зоне пе-

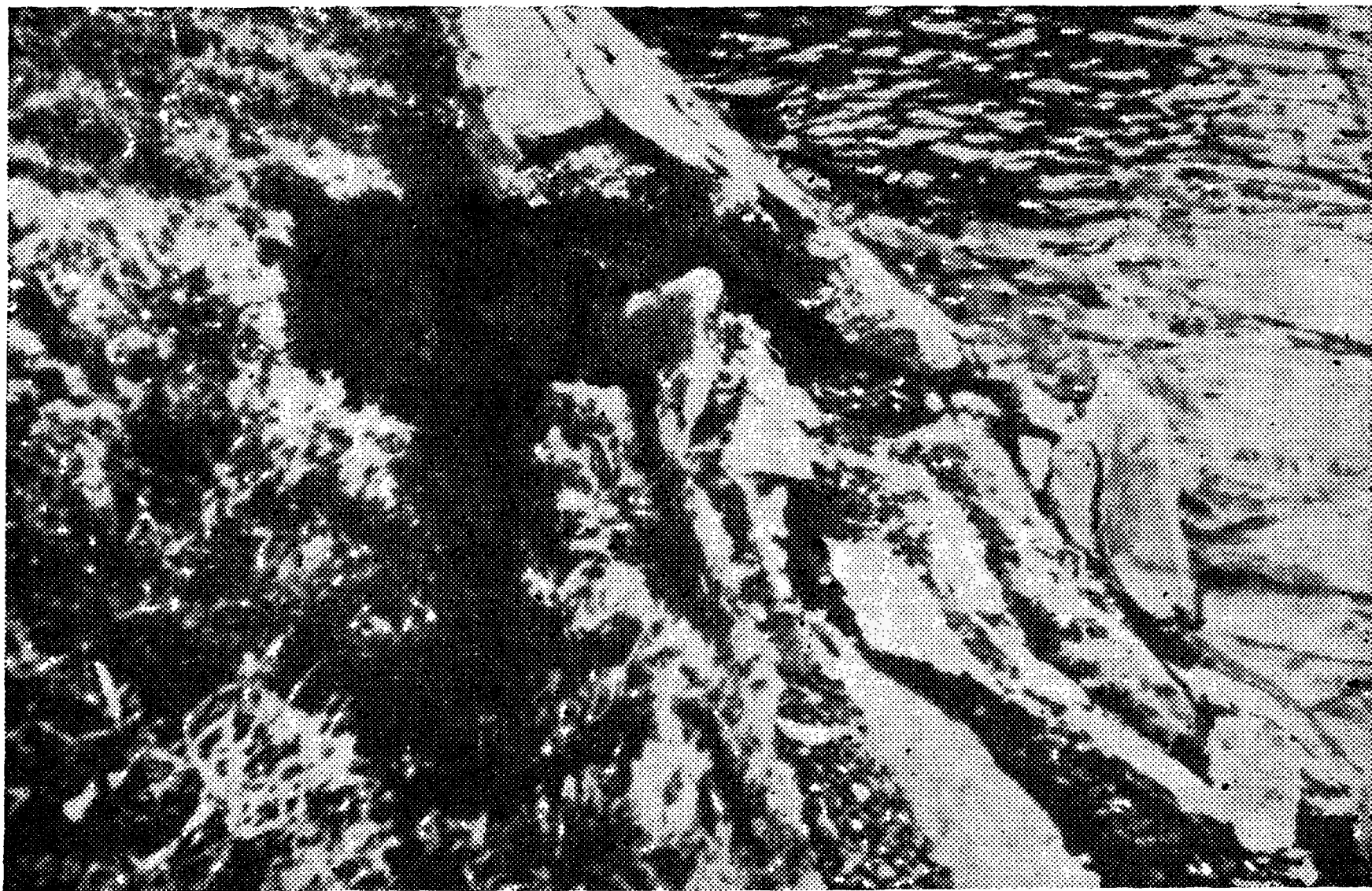


Рис. 30. Особой опасности подвержен бетон, находящийся в зоне переменного уровня

ременного уровня, находится в самых неблагоприятных условиях, так как он подвержен воздействию не только окиси углерода и атмосферного кислорода, но и воздействию хлоридов. В результате постоянной пропитки бетона морской водой и последующего ее испарения с течением времени в нем образуется сильная концентрация хлоридов, которая может привести к коррозии арматуры, даже если в бетоне нет трещин. Если конструкция выполнена не на должном уровне (например, строительные элементы не обладают достаточной массивностью, слой бетонного покрытия недостаточной толщины), то в целях обеспечения необходимой стойкости ее покрывают защитным слоем синтетического полимера, подходящего для конкретных условий. Для сооружения

строительных объектов, работающих в морской воде, богатой сульфатными компонентами, рекомендуется применять сульфатостойкий цемент.

При производстве ремонтно-восстановительных работ гидротехнических сооружений большое внимание следует уделять тому, чтобы удалялись не только строительные детали с видимыми повреждениями, но и все участки бетонного покрытия, которые поражены агрессивными химическими веществами, оказывающими разрушающее воздействие на сталь и бетон (соли морской воды, нефтяные продукты и т. п.).

8.7. БЕТОННЫЕ ПЛИТЫ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА

Любое покрытие проезжей части дорожного полотна подвергается воздействию различ-

ных нагрузок, обусловленных движением транспорта.

Во-первых, покрытие должно обладать высокой поверхностной прочностью, чтобы противостоять износу от воздействия шин автотранспортных средств, во-вторых, оно должно обладать достаточной морозостойкостью и противостоять воздействию противоморозных средств, и, наконец, оно должно быть устойчивым к динамическим нагрузкам, обусловленным движением тяжелого транспорта и сохранять свое место в дорожном полотне.

В то время как первые два требования (поверхностная прочность и морозостойкость) могут быть выполнены главным образом благодаря соответствующему конструктивному решению и применению необходимых материалов для настила проезжей части, то третье требование в условиях длительного воздействия тяжелого транспорта обеспечивается главным образом составом и качеством подстилающего и несущего слоев дорожного полотна.

Жесткие железобетонные плиты, предназначенные для восприятия динамических транспортных нагрузок, кроме высокой сопротивляемости износу, должны обладать также и морозостойкостью и в противоположность дорожным сооружениям с преобладающими статическими нагрузками должны в течение многих лет воспринимать динамические нагрузки от движения большегрузного транспорта и передавать их через всю опорную по-

верхность в подстилающий слой дорожного полотна.

Необходимым условием для этого является то, чтобы вся верхняя конструкция дорожного полотна базировалась на устойчивом и долговечном несущем основании, а настил проезжей части и подстилающее основание работали как одно целое.

Таким образом, долговечность и устойчивость положения полотна проезжей части зависит не только от качества бетонного покрытия, но и от подстилающего слоя. Для более устойчивого положения несущее основание полотна усиливают цементированием. При этом насыпные материалы перемешивают с цементом и равномерно уплотняют. В зависимости от породы и вида используемых материалов стабилизирующий слой имеет разную толщину, но в каком-то месте он обрывается, и тогда нагрузка будет передаваться на не связанный цементом в большей или меньшей степени механически утрамбованный грунт.

Так как почва всегда содержит воду, то в месте перехода от несущего слоя к грунту образуется глинистая суспензия. В результате динамических транспортных нагрузок в этих местах происходит изменение структуры почвы. Содержащиеся в несвязных грунтах мелкодисперсные компоненты пропитываются грунтовой водой и благодаря постоянным сотрясениям от движущегося транспорта переходят вверх, в результате чего происходит изменение фракционного состава

ва грунта и изменение его несущей способности.

В грунтах, содержащих связные компоненты, в результате транспортных вибраций происходит смешивание этих компонентов с имеющейся водой благодаря динамическим сотрясениям, продолжается отсос воды из близлежащих участков грунта в эту смесь. Образовавшаяся при этом глинистая суспензия обладает гораздо более низкой несущей способностью, чем грунт, не разжиженный водой.

Благодаря соответствующим техническим мероприятиям, например созданию достаточной толщины и связи цементом стабилизирующего слоя, а также дренированию области, находящейся под несущим основанием, возможно свести до минимума описанное явление, однако полностью исключить его невозможно. Каждое дорожное полотно, если оно уложено не на скальные породы, в условиях интенсивного транспортного сообщения всегда оседает.

Автострады состоят по меньшей мере из трех, расположенных рядом и отделенных друг от друга дорожных полос. Каждая из них испытывает различные нагрузки, главная полоса движения воспринимает на себя всю нагрузку от тяжелого транспорта; обгонная полоса — в основном нагрузки от легковых автомобилей, а полосы стоянок не испытывают динамических нагрузок.

Это обстоятельство обуславливает различные осадки дорожных полос. На стыках

соседних панелей, выполняющих одновременно роль температурных швов, происходит образование ступеней, достигающих высоты нескольких сантиметров. Об этом свидетельствует скопление воды, стекающей во время атмосферных осадков к внешней стороне полотна проезжей части, главным образом в местах перехода от главной полосы движения к полосе стоянки, что приводит к образованию больших луж с опасным последствием скольжения транспорта на этих участках дорожного полотна. При сильном оседании выходит из строя уплотнение швов, атмосферные осадки просачиваются под плиты и тем самым ускоряется эффект разжижения основания.

В последующей стадии разжиженные мелкодисперсные материалы перемещаются к периферии плит и через стыковые швы вытекают наружу, в результате чего под плитами образуются пустоты. При дальнейшем оседании плит с одновременным изменением опорных поверхностей происходит образование трещин и разрушений в плитах, и дорогостоящее бетонное покрытие выходит из строя.

8.7.1. Ремонтно-восстановительные работы. Негативные последствия описанного выше процесса можно значительно снизить применением определенной технологии и тщательным выполнением работ по сооружению несущего слоя и верхнего покрытия дорожного полотна, однако полностью исключить их невозможно. Пли-

ты, по которым происходит интенсивное движение автотранспорта, будут медленно, не неуклонно опускаться. Поэтому вопрос устойчивости и долговечности бетонного покрытия полотна проезжей части дороги и, следовательно, стоимости производства ремонтно-восстановительных работ зависит от того, насколько соответствующими мероприятиями возможно остановить развитие описанного выше явления.

Для решения этой задачи имеется многократно опробованная в течение последних лет возможность выравнивания осевших плит проезжей части методом нагнетания под них вяжущего вещества.

8.7.2. Производство работ. В бетонных плитах просверливают отверстия, достигающие верхнего уровня несущего слоя. Для ослабления сцепления бетонной плиты с основанием она предварительно слегка приподнимается с помощью сжатого воздуха давлением не менее 0,7 МПа. Таким образом, в идеальном случае плита как бы парит на воздушной подушке, благодаря чему без особых трудностей можно подать под нее инъецируемые материалы. Перед началом работ по инъекции гидравлических вяжущих просверленные отверстия заглушают деревянными пробками, открытые швы дополнительно заделывают бумагой или другими подходящими материалами.

Для нагнетания применяют водную суспензию специального материала на цементной основе. Этот материал отличается превосходными характе-

ристиками текучести, способностью не расслаиваться, хорошей равномерностью изменения объема и быстрым затвердеванием. Быстрое затвердевание инъецируемого материала дает возможность спустя некоторое время после производства работ вновь возобновить по ним движение транспорта. Прочность на сжатие этого материала вполне достаточна для восприятия ожидаемых транспортных нагрузок. В то время как грунтовая стабилизация на цементобитумной основе толщиной 15 см предусматривает, например, минимальную прочность на сжатие 8 МПа, используя для нагнетания материал Blitzdämmer производства фирмы «Annelise—Zementwerke», можно достичь прочность на сжатие в зависимости от содержания воды в пределах 10—15 МПа. По истечении примерно 10 ч после проведения ремонта автострада вновь пригодна для нормального транспортного сообщения. После завершения всего процесса работ по подъему плиты и инъецированию все просверленные отверстия и швы должны быть вновь заделаны эластичными материалами.

8.8. РЕБРИСТЫЕ ПАНЕЛИ ПЕРЕКРЫТИЙ В СТАЦИОНАРНОЙ ОПАЛУБКЕ

Перекрытия из железобетонных конструкций часто выполняются как двухслойные системы. Основу конструкции создает несущее перекрытие, представляющее собой ребристую панель в стационарной

опалубке. Под панелью монтируется подвесной потолок, который, с одной стороны, образует гладкую поверхность в помещении, а с другой,— полость, которая может быть использована для расположения в ней электропроводки и трубопроводов различного назначения.

Часто подвесной потолок закрепляют непосредственно на несущем перекрытии и используют как опалубку (однослойная конструкция) или его навешивают на оставшийся в перекрытии элемент опалубки.

Преимуществом этого способа является то, что подвесной потолок после бетонирования перекрытия не удаляется, и отпадает необходимость в снятии опалубки и последующей штукатурке. Недостатком является то, что практически невозможно проконтролировать качество бетонирования всех элементов перекрытия. Это может привести к тому (прежде всего при очень тонких ребрах), что не будет обеспечена необходимая толщина перекрытия, хотя при изготовлении перекрытия и приемке сооружения это не было замечено.

Лишь при реконструкции старых зданий с такими системами перекрытий обнаруживается, часто по прошествии десятилетий, что несущая способность конструкций намного ниже значения, принятого в нормативных документах. Если впоследствии сравнить расчетную несущую способность этого сильно уменьшенного поперечного сечения конструкций с действительными нагрузками

(прежде всего интенсивно функционирующих общественных зданий и торговых заведений), то зачастую оказывается, что по всем правилам статике эти перекрытия давно должны были обрушиться.

Если обнаруживают подобные дефекты, то приходится удалять все бетонные элементы с недостаточными размерами или с ослабленной коррозией арматурой и полностью заменять несущие конструкции с недостаточным поперечным сечением. При этом, если есть необходимость, устанавливается недостающая или заменяется ослабленная коррозией арматура.

8.9. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕННЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

8.9.1. Общие положения. Трещины в железобетонных строительных элементах приносят вред, даже если они непосредственно не угрожают прочности сооружения, а только коррозионной защите арматуры и тем самым долговечности конструкции. Однако в обычных железобетонных конструкциях их вряд ли можно избежать, так как из-за большой разницы модулей деформации стали и бетона трещины являются предпосылкой того, что более пластичная сталь воспринимает растягивающие напряжения.

В основе способа строительства с применением предварительно напряженного железобетона лежала идея уравнивания растягивающих усилий от нагрузки сжимающими

усилиями предварительного напряжения. Для этого при изготовлении строительных элементов в них укладывается высокопрочная сталь и после твердения бетона подвергается натяжению с целью создать напряжение, противодействующее внешним нагрузкам. Благодаря этому приему можно уменьшить размеры поперечного сечения железобетонной конструкции, избегая при этом больших прогибов или образования трещин.

Предварительное напряжение стальной арматуры требует применения высокопрочной проволоки относительно малого сечения в противоположность круглой стали обычной арматуры. Предварительно напряженные железобетонные конструкции ввиду особой подверженности коррозии напрягаемой арматуры, а также повышенной прочности бетона чаще подвергаются повреждениям, нежели обычные железобетонные конструкции, независимо от того, являются ли эти повреждения результатом конструктивных недоработок, ошибками производства или перенапряжением стали или бетона. Тонкие проволоки напряженной арматуры подвержены особой опасности, если в результате доступа хлоридов в окружающий ее бетон нейтрализуется активная коррозионная защита этой проволоки. Несмотря на то что опасность коррозии предварительно напряженных сталей значительно снижена, благодаря запрету применять хлоридсодержащие бетонные добавки и ограничению сульфатных компонентов

в цементе, в последнее время все чаще встречаются коррозионные повреждения мостовых сооружений, в том числе у мостов из предварительно напряженного железобетона в результате значительно возросшего применения хлоридсодержащих средств, предотвращающих обледенение. Неоднократно возникающие в последнее время в стыковых швах таких мостов повреждения вызывают оживленные дискуссии относительно причин повреждений строительных конструкций из предварительно напряженного железобетона.

8.9.2. Недостаточное заполнение раствором напряжных каналов. Необходимым условием для долговечной коррозионной защиты, и, следовательно, сохранения несущей способности напряженных сталей является полное заполнение трубчатой оболочки, окружающей предварительно напряженную арматуру, цементным раствором. Если при этом останутся незаполненные участки, то образующаяся в пустотах конденсационная вода или проникающая туда вода атмосферных осадков вызывает развитие коррозионного процесса и в последующем разрушение арматуры.

Пока еще нет надежных методов контроля для выявления действительного состояния предварительно напряженных арматурных элементов в каналах. Остается одна возможность: особо ответственные места или области, которые вызывают подозрение наличием ржавых пятен, следует осторожно просверлить и исследовать.

довать. И если подтвердится предположение относительно недостаточного заполнения каналов, то эти полости следует тщательно заполнить раствором через просверленные отверстия.

8.9.3. Полное разрушение предварительно напряженной арматуры. Если прогрессирующая коррозия не была вовремя обнаружена или если возникнут непредвиденные обстоятельства (например, пожар), то это может привести к полному разрушению некоторой части или всей предварительно напряженной арматуры и тем самым к потере предварительного напряжения в элементе строительной конструкции. Типичные причины разрушения стали следующие:

коррозия предварительно напряженной стали в результате недостаточной коррозионной защиты (неполное заполнение арматурных каналов);

коррозия предварительно напряженных сталей вследствие воздействия на них хлоридов (в результате применения средств, предотвращающих обледенение);

пожар (например, в результате загорания грузовой автомашины под мостом).

Если в результате разрушения напряженной арматурной стали было снижено требуемое предварительное напряжение строительного элемента, то при производстве ремонтно-восстановительных работ возникают трудности, так как в этом случае необходимо не только заменить разрушенные арматурные стали и затем залить бетоном, но и осуществ-

вить предварительное напряжение арматуры в конструкции.

Для этого решения имеется два варианта:

в оставшихся бетонных элементах сооружения вырубают борозды, располагают в них напрягаемую арматуру, затем закрывают борозды торкрет-бетоном. Предварительное натяжение свободно лежащей арматурной проволоки производится перед заделкой борозд. При использовании натяжных каналов сначала в них протягивается арматурная проволока, которая после твердения торкретбетона натягивается, и отверстия заполняются цементным раствором;

вновь устанавливаемую арматуру для предварительного натяжения располагают вдоль существующих элементов с таким расчетом, чтобы вся сталь для предварительного натяжения целиком укладывалась в усиливаемый участок конструкции. Натяжение арматуры осуществляется как в предыдущем варианте, перед затвердеванием укладываемого бетона (арматура в бороздах) или же после твердения вновь уложенного бетона (устраиваются каналы для напрягаемой арматуры).

Первый метод установки новой напрягаемой арматурной проволоки в прорубленные борозды имеет свои преимущества, так как эти восстановительные работы могут производиться по частям, и таким образом можно по желанию регулировать степень натяжения проволоки на любом участке восстанавливаемой конст-

рукции. Этот метод был описан Коуном (Coune) еще в 1935 г. при увеличении высоты железобетонной плотины в Черфасе (Cheurfas) в Северной Африке.

Недостаток этого способа, главным образом при восстановлении элементов конструкции с малым поперечным сечением, заключается в том, что происходит некоторое ослабление конструкции при прорубании борозд, а также в том, что затрачиваются большие денежные средства, идущие на оплату высококвалифицированных специалистов.

Второй метод более пригоден для мостовых и балочных конструкций с малым поперечным сечением и для предварительно напряженных железобетонных конструкций, однако при этом увеличивается собственная масса усиливаемых элементов.

Каждое конструктивное решение коррозионной защиты напрягаемой арматуры, особенно при выборе метода предварительного натяжения типа анкерного закрепления, должно вытекать из действующих нагрузок и степени повреждения объекта.

8.9.4. Трещины в технологических швах. В последнее время отмечается увеличение числа трещин в технологических швах мостов из предварительно напряженного железобетона. Размеры больших мостовых сооружений вынуждают производить бетонные работы по частям на отдельных участках.

Таким образом, эти швы запланированы принятой техно-

логией для мостов из напряженного бетона, в которых напряженные арматурные элементы стыкуются друг с другом. При неудачном расположении стыковых мест от сил предварительного напряжения в области швов могут возникнуть растягивающие напряжения в бетоне, которые впоследствии могут привести к их раскрытию или к растрескиванию бетона в области шва. Для устранения этой опасности были внесены изменения в строительные нормы и правила. Однако в ранее построенных мостовых сооружениях образование таких трещин отмечается во все возрастающих объемах. Чтобы избежать коррозии, представляющей особую опасность для напряженной арматуры, эти трещины следует заполнять синтетическим полимером.

Если в мостах из предварительно напряженного железобетона образуются трещины в области соединения напряженных арматурных элементов, то, в дополнение к коррозионной опасности, могут еще добавиться не предусмотренные расчетом высокие вибрационные напряжения арматуры и соединительных элементов. Целью заделки трещин, помимо создания надежной коррозионной защиты арматуры, является также обеспечение восприятия растягивающих напряжений всем поперечным сечением восстановленного участка предварительно напряженной конструкции. Необходимым условием для заделки трещин в области технологических швов является достаточная ширина

трещины — 0,1—0,2 мм. Так как при высоких температурах ширина трещины бывает меньше, то заделка трещины должна производиться при наибольшей их ширине, т. е. при низких температурах. Нижний предел температуры для производства таких работ должен быть 8 °С, так как при более низких температурах ухудшается отверждение полимерных уплотнителей.

Аналогичные проблемы могут возникнуть при неблагоприятном расположении анкеров на концах элементов для предварительного напряжения. Здесь могут возникнуть растя-

гивающие напряжения в бетоне в области воздействия сил предварительного напряжения, которые также приводят к образованию трещин.

Для обеспечения надежности строительного сооружения особые требования предъявляются к качеству материалов, применяемых для заделки трещин, к способу производства ремонтных работ, а также к методам контроля выполнения работ. Эти требования значительно превышают требования, предъявляемые к восстановлению других, менее ответственных участков сооружения.

9. ВЫБОР СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

9.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Расходы, затрачиваемые на устранение повреждений, в большинстве случаев намного превышают затраты на предотвращение возможных повреждений. В среднем расходы на устранение коррозионных повреждений железобетонных конструкций, возникших в результате недостаточного защитного слоя бетона, примерно на 10—20 % выше расходов на изготовление железобетонного элемента с увеличенным защитным слоем.

Дополнительные расходы на увеличение толщины защитного слоя бетона на 1 см составили бы максимум 1—2 % стоимости конструкции. К тому же не учитываются затраты нервной энергии и потеря времени людьми, которые устра-

няют повреждения в аварийных ситуациях.

Выбор способа производства ремонтно-восстановительных работ является существенной частью разработки проекта восстановления, который должен предшествовать каждому квалифицированному восстановлению.

В проекте производства ремонтно-восстановительных работ должны быть отражены все технические и экономические вопросы — от исходного состояния объекта и до конечного его состояния после восстановления. Лишь таким путем можно прийти к правильному выбору соответствующей техники и материалов и обеспечить технически грамотное решение поставленной задачи с наименьшими затратами.

К профессиональной подготовке и специальным знаниям инженеров, занимающихся разработкой проекта производства работ и к квалификации рабочих предъявляются, как правило, требования более высокие, чем при сооружении новых объектов.

Для производства ремонтно-восстановительных работ применяется метод нанесения бетонного покрытия способом торкретирования, который на протяжении многих десятилетий оправдывает себя, и с 1974 г. по рекомендации Берлинского института строительной техники были введены DIN 18551 «Торкретбетон» и дополняющие их указания по восстановлению и усилению железобетонных элементов. Эти нормы и дополняющие указания стали обязательными к исполнению при производстве всех ремонтно-восстановительных работ железобетонных, обычных и предварительно напряженных конструкций, а также для приемки восстановленных сооружений.

Наряду с методом торкретирования или в дополнение к нему для производства ремонтно-восстановительных работ применяют синтетические полимеры. Их применяют для восстановления бетонных элементов (растворы на основе синтетических полимеров) или заделки трещин и пустот в бетоне (специальные смолы для инъектирования).

Для приготовления и использования синтетических полимеров при восстановлении поврежденных железобетонных элементов также необходимы

нормативные документы, так как на основании субъективных данных производителей полимерных материалов вряд ли можно дать объективную оценку их пригодности для вышеуказанных целей.

Правильная оценка используемых полимерных материалов имеет важное значение для прочности и долговечности всей восстановленной конструкции, так как большая разница свойств полимера и бетона может привести к тому, что в результате негативных изменений в структуре восстановленного участка конструкции вместо увеличения срока службы сооружения может получиться обратный результат. Например, при восстановлении недостающего участка бетонного покрытия раствором на полимерной основе может произойти снижение пожарной безопасности сооружения.

9.2. СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Существенное влияние на качество и долговечность восстановления оказывает выбранный способ производства ремонтно - восстановительных работ и правильно подобранные материалы.

При восстановительных мероприятиях, выходящих за рамки улучшения внешнего вида сооружения, не существует принципиального различия между восстановлением и усилением строительной конструкции. Прежде чем решить вопрос о необходимых размерах поперечного сечения конст-

рукции, надо определить фактическое распределение нагрузок на элементы конструкции, возможные деформационные изменения и т. п.

Характеристики различных методов производства работ для каждого конкретного случая повреждений можно выбрать в имеющихся технических рекомендациях по производству ремонтно-восстановительных работ. Чем детальнее описаны методы производства восстановительных работ в соответствующих нормах и руководящих материалах, тем проще специалистам оценить каждый способ производства восстановительных работ и соответственно тем выше эффективность технических приемов, используемых при решении вопросов производства ремонтно-восстановительных работ.

9.2.1. Устройство недостающего защитного слоя бетона. Для получения требуемого размера защитного слоя бетона после соответствующей подготовки основания бетон укладывают в подготовленную для этих целей опалубку. Благодаря нанесению специального слоя, повышающего сцепление (шероховатый цементный клей, обогащенная песком эпоксидная смола), можно добиться необходимой связи, основанной на силе сцепления. Необходимость создания связи для передачи сил сцепления между старым и вновь наносимым слоем бетона в инструкциях не устанавливаются. Этот вопрос решают на основании специально проводимых опытов. Если окажется, что создания связующего слоя недоста-

точно, то устанавливают анкеры или другие стальные соединительные элементы.

Если новый бетон по качественным показателям соответствует старому, на который его наносят, это значит, что **обеспечены равномерные деформационные изменения** под воздействием нагрузок и температурных колебаний, за исключением сильных усадочных явлений и значительной ползучести вновь уложенного слоя бетона. Так как этот способ не гарантирует из-за технологических швов надежное распределение усилий при всех случаях внешних воздействий (как, например, при пожаре), то при установке дополнительной арматуры на поврежденных участках для создания силовых связей необходимо скреплять эту арматуру с оставшейся старой арматурой.

9.2.2. Торкретбетон. При этом способе восстановления поврежденных участков бетонная смесь с высокой кинетической энергией набрызгивается на заранее подготовленную поверхность старого бетона. Так как наносимый методом торкретирования материал вследствие его высокой кинетической энергии проникает во все поры и неровности старого бетона, еще более проявившиеся в результате его предварительной пескоструйной обработки, то после затвердевания торкретбетона происходит надежное сцепление между обоими конструктивными компонентами. Рекомендации Германского комитета по железобетонным конструкциям разрешают рассматривать эту связь, осно-

ванную на силе адгезионного сцепления, обеспечивающую прочность на сдвиг при касательных напряжениях. При торкретировании обеспечивается распределение усилий в технологических швах при любых внешних воздействиях (даже и в случае пожара), поэтому включение в работу дополнительной арматуры происходит благодаря сцеплению старого и нового бетона и сцеплению арматуры с новым бетоном.

9.2.3. Полимерные растворы. Под восстановлением бетона с применением синтетических полимеров понимают так называемые самоотверждающиеся смолы, т. е. смолы, затвердевание которых происходит в результате реакции между двумя полимерными компонентами. На практике компоненты замешиваются непосредственно на строительной площадке незадолго до применения с добавлением так называемых наполнителей. Для этих целей используются синтетические смолы на эпоксидной или акриловой основе. Пределы прочности при сжатии и растяжении смол, так же как и растворов, приготовленных на смеси наполнителей с ними, намного превышают прочность обычных бетонов. Однако нужно иметь в виду то, что в результате сильно различающихся характеристик температурного расширения и модуля упругости синтетических смол и бетона могут возникнуть определенные проблемы. Коэффициент температурного расширения, так же как и модуль деформаций эпоксидных смол, по меньшей мере в

10 раз превышает значение соответствующих характеристик бетона. Раствор на полимерной основе лишь тогда будет в состоянии совместно работать с бетоном без образования трещин и отслаивания, если будет обеспечена его высокая адгезионная прочность. С помощью тщательно нанесенного грунтовочного состава на хорошо подготовленный бетон можно добиться хорошего сцепления, и нанесенный на бетон слой полимерного раствора сможет стойко держаться в течение длительного времени без повреждений.

Одной из заслуживающих особого внимания проблем, возникающих при применении полимерных материалов для производства ремонтно-восстановительных работ различных участков несущих конструкций, является очень низкая огнестойкость синтетических смол.

Все самоотверждающиеся смолы, употребляемые для приготовления полимерных растворов, начиная с 80°C теряют свои прочностные качества. Это полностью исключает применение полимерных растворов при восстановлении всех несущих строительных элементов, которые могут подвергнуться воздействию огня. Если недостающие части бетонного покрытия заменяют полимерным раствором, то надо учитывать, что при пожаре эти элементы конструкции будут обладать гораздо меньшей огнестойкостью, чем это необходимо.

9.2.4. Заделка трещин синтетическими смолами. Образование в железобетоне трещин

показывает, что возникшие растягивающие усилия, обусловленные кратковременными (при пожаре) или в течение длительного времени (при перегрузках) воздействиями, оказались такими, что бетон был не в состоянии их воспринять. В таких случаях надо позаботиться о том, чтобы с помощью определенных мероприятий конструкция подверглась воздействию растягивающих усилий. Затем трещины заделывают таким материалом, который обладает такой же прочностью на сжатие, как и бетон, чтобы он вновь смог воспринимать сжимающие и сдвигающие усилия. Заделка трещин в железобетонных конструкциях, в которых могут проникнуть агрессивные вещества, обязательна, так как она надежно исключает коррозию арматуры.

Европейский комитет по бетону в рекомендациях по расчету и возведению железобетонных сооружений дает следующие допустимые размеры трещин: ширина до 0,3 мм для строительных элементов во внутренних помещениях с нормальной атмосферой; до 0,1 мм для строительных элементов, подверженных особо сильному воздействию агрессивных веществ (например, мосты под воздействием средств, предотвращающих обледенение).

Заделывать трещины цементным раствором возможно лишь при ширине трещин более 3 мм, а для трещин шириной 0,1—3 мм проводят инъецирование синтетических смол под высоким давлением. За последние годы были разрабо-

таны методы, аппараты и специальные инъекционные смолы, позволяющие заполнять трещины соответствующими материалами с достаточной прочностью.

9.2.5. Покрытие пленками из полимерных материалов. Если толщина или плотность защитного бетонного слоя недостаточны для обеспечения долговечной и надежной коррозионной защиты арматуры, то для увеличения срока службы строительного сооружения необходимо замедлить темп карбонизационного процесса восполнением недостающего слоя способом торкретирования или нанесением защитного покрытия.

Как было сказано выше, недостаточная толщина защитного слоя бетона представляет опасность для арматурных стержней из-за того, что не обеспечивается достаточный запас гидроокиси кальция, который необходим для строительного сооружения на протяжении всего срока службы для защиты арматуры от коррозии. В таких случаях на внешнюю поверхность бетона наносят защитные пленки, которые должны препятствовать прониканию молекул CO_2 в бетон. Такие защитные покрытия замедляют процесс карбонизации бетона. Так как для нормальной работы конструкции в большинстве случаев недопустимо повышение сопротивляемости паропрооницанию, эти защитные пленки должны оказывать сопротивление лишь прониканию молекул CO_2 и в то же время не препятствовать прохождению паров воды.

Это требование осуществимо благодаря тому обстоятельству, что диффузионная сопротивляемость углекислому газу незащищенного бетона в 10 раз ниже, чем сопротивляемость водяному пару. При выборе соответствующих материалов нужно стремиться к тому, чтобы создать относительно грубый фильтр на внешней поверхности бетона, который бы значительно препятствовал прониканию CO_2 и не препятствовал прониканию паров воды.

Толщина слоя наносимого покрытия зависит от его защитной функции, от состояния поверхности, на которую наносится этот слой, и от вида применяемого материала. В зависимости от толщины они могут характеризоваться как пропиточные (которые лишь обволакивают поры), как заполняющие поры (закрывающие поры) или как наслоение (закрытый слой, проходящий поверх выступающих неровностей наружной поверхности бетона).

В сообщении Брауншвейгской лаборатории, занимающейся испытанием материалов, приводятся доводы против обработки наружной поверхности составами на основе кремнийорганических соединений, так как в результате конструкция обезвоживается, что форсирует темп карбонизационного процесса.

Окраска поверхности конструкции материалами на основе полиакриловой смолы при правильном ее применении может оказывать защитное действие от углекислого газа, не

наносая при этом ущерба сооружению.

В этом же сообщении подвергаются сильному сомнению принципы действия покрытий закрывающих трещины. При трещинах, изменяющих свои размеры (имеются в виду прежде всего фасады, подвергаемые переменным температурным воздействиям), невозможно обеспечить длительное закрытие трещин с помощью одной лишь покраски или тонкослойным покрытием. Но при недостаточном защитном слое бетона и при определенных условиях может оказаться возможным с помощью защитной пленки на основе акриловой смолы создание дополнительной карбонизационной защиты.

Долговечность такого покрытия всегда ограничена. Она, как и любая другая защитная обработка бетонной поверхности, является результатом различных мероприятий и факторов, таких например, как подготовка наружной поверхности, вида покровного материала, интенсивности воздействия различных агрессивных сред и продолжительности. Как правило, такой карбонизационный тормоз действует в течение 10 лет, после чего требуется его восстановление.

9.3. ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ПРИГОДНОГО СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

9.3.1. Основные положения. Целью проведения ремонтно-восстановительных работ со-

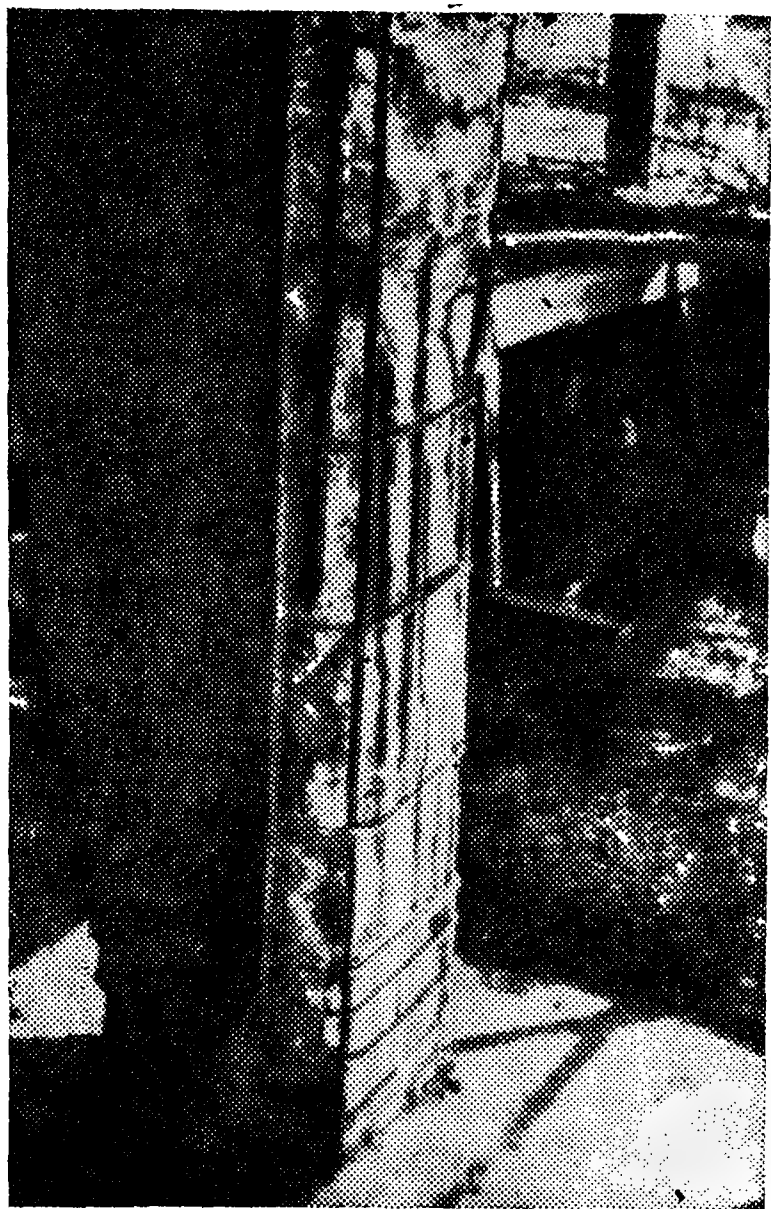


Рис. 31. Ремонтно-восстановительные работы начинаются с тщательного удаления поврежденного бетона

ружения является полное восстановление несущей способности и долговечности, предусмотренной сроком эксплуатации.

Если в результате повреждений, причины которых — уменьшение поперечного сечения бетона или стали или превышение расчетной нагрузки, возникает опасность, угрожающая несущей способности железобетонной конструкции, то необходимо компенсировать недостающую несущую способность, предварительно проверив правильность намечаемых восстановительных мероприятий. Основной предпосылкой такого мероприятия является то, что достигнутое улучшение состояния сооружения имеет и экономический смысл, т. е. разумное соотношение между за-

тратами на восстановительные мероприятия и достигнутыми результатами с точки зрения пользы восстановленного сооружения.

Восстановление сооружения может производиться двумя путями:

восстановление первоначально запланированного состояния сооружения материалами, которые были заложены первоначально, при проектировании сооружения (например, восстановление недостающих бетонных частей методом торкретирования);

восстановление необходимого состояния сооружения (несущей способности, пожаростойкости, долговечности) обеспечивается другими пригодными для этих целей средствами (например, повышение прочности конструкции, дополнительные защитные покрытия и т. п.).

9.3.2. Основы обеспечения несущей способности и долговечности сооружения. Для обеспечения несущей способности сильно поврежденных конструкций основные размеры восстанавливаемых конструктивных элементов принимают по DIN 1045. В зависимости от выбранных размеров основных сечений строительных элементов решается вопрос, в каком объеме и какими средствами может быть обеспечено надежное соединение нового и старого бетона. Можно выделить три возможных случая:

неподвижное соединение. Этот вид соединения может быть достигнут лишь при торкретировании и тщательной подготовке бетонной поверхно-

сти с помощью пескоструйной обработки или же использования эпоксидной смолы для получения связующего слоя. При неподвижном соединении восстановленное поперечное сечение работает как одно целое;

податливое соединение образуется при устройстве анкеров или проходящей поперек шва арматуре. В таких случаях шов не работает, а возникающие при этом усилия передаются только через соединительные элементы. Даже при гарантированной передаче всех действующих в сечении сил следует иметь в виду, что речь идет о составном поперечном сечении, в котором возможно некоторое смещение в области швов. Жесткость такого соединения ниже, чем неподвижного соединения;

соединение без связи применяют при восстановлении недостающего защитного слоя бетона обычным способом. Передача сил возможна лишь при действии сжимающих усилий тогда, когда они направлены перпендикулярно к шву. В зависимости от шероховатости поверхности соединения получается сцепление из-за трения, которое возрастает при действии сжимающих усилий, направленных перпендикулярно шву. В какой мере это сцепление воспринимает действующие силы, можно судить по конкретным условиям. Благодаря сжатию поверхностей шва, например с помощью тяжких анкеров, можно достичь определенной работоспособности шва и учитывать ее в расчетах.

9.3.3. Определение размеров

поперечного сечения конструкции. Размеры отдельных конструктивных элементов, подлежащих восстановлению или усилению, определяют по действующим нормам производства железобетонных работ.

Если необходимы отклонения от требований норм, то при принятии решений следует опираться на накопленный опыт, который должен гарантировать полную надежность принятых решений и вводить дополнительный коэффициент безопасности соответствующим увеличением действующей нагрузки или снижением прочностных характеристик материалов. При выборе коэффициента безопасности исходят из следующих факторов:

опасность для жизни и здоровья людей при исчерпании предела несущей способности конструкции;

надежность исходных данных при принятии решений (характеристики материалов, нагрузки, применяемые технологические приемы и механизмы);

распределение усилий в швах бетонирования как важнейшая предпосылка для взаимодействия нового и старого бетона;

различное поведение старого и нового конструктивного элемента из разных материалов (например, цемента и синтетического полимера);

выбор метода производства восстановительных работ и применяемых материалов на основе накопленного опыта в аналогичных условиях;

квалификация рабочего персонала и компетентность

фирм, производящих восстановительные работы;

объем и надежность проводимого контроля выполняемых работ в процессе при их производстве и приемке.

Решение о введении коэффициента запаса и его величине принимает инженер, разрабатывающий проект восстановительных работ и рассчитывающий основные размеры восстанавливаемых конструкций. Этот коэффициент, как правило, равен 1—1,3, а иногда 1,5.

При расчете размеров конструкций определение максимальных напряжений от линейных нагрузок в большинстве случаев не вызывает никаких проблем, но при решении вопросов, связанных с деформациями, не зависящими от продолжительности протекания (ползучесть, усадка), с нелинейными деформациями (поперечное расширение), часто возникают затруднения. Следует иметь в виду, что установленные в нормах основные положения и методы расчета базируются на определенных допущениях (например, модуль упругости для отдельных классов бетона; пропорциональный рост напряжения и нагрузки и т. д.) и что это несоответствие между методами расчета и действительностью может компенсироваться определенным перераспределением усилий. Можно предположить, что при усилении конструкции способом жесткого соединения возникающие различные деформации будут относительно равномерно распределяться по всему поперечному

сечению. Например, при усилении конструкций методом торкретирования не было зарегистрировано ни одного случая, приведшего к повреждениям из-за различной ползучести старого и нового бетона.

При эластичном соединении или при стыковке без сцепления оценивают различное деформированное состояние старого и нового бетона, которое учитывают в расчетах.

9.3.4. Некоторые особенности применения синтетических полимеров для восстановления несущих элементов конструкции. Замена отдельных участков бетона в поврежденной конструкции возможна лишь в том случае, если она обеспечивает прочность материала независимо от применяемого метода восстановления. И если применяется торкретбетон (прежде всего при значительных разрушениях конструкции), то для этого имеется ряд причин.

Линейные деформации, обусловленные температурным и силовым фактором. Если прочность на растяжение и сжатие раствора на основе полимеров в большинстве случаев превосходит прочность бетона, то нужно учитывать, что в результате большой разницы коэффициентов температурных удлинений и модулей упругости синтетических полимеров и бетона могут возникнуть серьезные проблемы. Коэффициент линейных удлинений, как и модуль упругости эпоксидной смолы, по меньшей мере в 10 раз отличается от соответствующих значений для бетона. Покрытие бетона раствором на

основе полимеров возможно лишь в том случае, если деформации конструкции, обусловленные температурными расширениями или усилиями, не порождали бы образования трещин и отслоения покрытий, если обеспечена высокая адгезионная прочность покрытия и бетона.

Как показывает практика, обеспечение высокого сцепления возможно, если хорошо подготовленная бетонная поверхность предварительно тщательно загрунтована. После такой подготовки бетонной поверхности на него можно наносить слой полимерного раствора, который в течение долгого срока остается без повреждений.

Стойкость к температурным колебаниям. Все самоотверждающие смолы, применяемые для приготовления полимерных растворов, начиная примерно с 80°C теряют свои прочностные качества. Это исключает применение растворов на полимерной основе для всех несущих строительных элементов, которые могут оказаться под воздействием высоких температур, так как в этом случае речь идет не о повреждениях чисто наружных поверхностей (отдельные незначительные отслоения бетонного покрытия). Если несущие элементы конструкции восстанавливают с помощью полимерных растворов, то нужно учитывать, что при пожаре эти части конструкции могут отказать.

Паронепроницаемый слой. Так как сам бетон обладает из-за наличия в нем пор паро-

проницаемостью, нанесение на него плотной синтетической пленки делает его паронепроницаемым. При нанесении на бетонную поверхность синтетической пленки или раствора на синтетической основе нужно провести дополнительные испытания покрытия с целью определения, может ли образовавшаяся полная или частичная непроницаемость бетона привести к образованию парового давления под покрытием или к образованию конденсата, в результате чего происходит насыщение конструкции влагой. Если не удалось избежать этого явления, то надо позаботиться о том, чтобы с помощью соответствующих конструктивных мероприятий (например, устройство паротводящих трубок) или подбором соответствующего состава покрытия создать достаточную паропроницаемость нанесенного слоя. Если этого достичь невозможно, то следует отказаться от применения полимерного покрытия.

9.4. ПРОИЗВОДСТВО РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Основной предпосылкой для успешного проведения ремонтно-восстановительных работ является правильная оценка исходных данных о состоянии восстанавливаемого объекта, главным образом несущей способности и причин повреждений. Проведение восстановительных работ имеет смысл, если в результате этих мероприятий будет вновь восстановлена конструкция и устра-

нены причины повреждений. Исходное состояние восстанавливаемого объекта оценивают по нормам производства железобетонных работ (DIN 1045). При необходимости производят отбор образцов материала поврежденной конструкций для определения его качеств (см. п. 6.3).

На основании выводов, сделанных из собранных данных относительно состояния объекта, разрабатывают необходимые мероприятия по восстановлению объекта. Восстановительные мероприятия начинаются, как правило, с удаления всех поврежденных и пораженных бетонных элементов. При этом следует прежде всего при серьезных повреждениях предусмотреть мероприятия по установке временных крепежных устройств. После обработки оставшихся частей конструкции пескоструйными установками осуществляют восстановление недостающих элементов методом торкретирования или с помощью полимерных растворов. При этом решающим для успешного исхода проводимого восстановления являются подготовка поверхности, на которую будет наноситься слой покрытия, и последующее восстановление элементов конструкции. Это должно производиться в строгом соответствии с действующими техническими нормами. Для производства восстановительных работ методом торкретирования в каждом случае необходимо предварительное и последующее увлажнение участков восстановления, чтобы регулировать содержание воды в свежемол-

женном бетоне и тем самым предотвратить непредусмотренное сокращение его объема.

При применении растворов на основе синтетических полимеров требуется, наоборот, по возможности более сухая поверхность, на которую для достижения лучшего сцепления наносится тонкий слой разжиженного полимера в качестве грунтовочного материала. Так как проводимые в каждом конкретном случае мероприятия по предварительной подготовке восстанавливаемых участков и последующему уходу за ними зависят от состояния объекта и применяемых материалов, то они должны проводиться в строгом соответствии с нормами и рекомендациями. При производстве ремонтно-восстановительных работ часто возникает необходимость в укладке дополнительной арматуры или восполнение недостающей арматурной стали, что вполне осуществимо. Основной предпосылкой для качественного выполнения таких работ является, во-первых, обеспечение надежной коррозионной защиты арматуры, во-вторых, проведение соответствующих мероприятий для обеспечения надежного включения в работу вновь уложенной арматуры.

Восстановление тяжелых повреждений бетона, равно как и обеспечение требуемой несущей способности восстановленных конструкций, при применении метода торкретирования рекомендуется для широкого применения.

Проведение ремонтно-восстановительных работ несущих

конструкций требует большого опыта и глубоких знаний. Производство таких работ может быть доверено лишь тем инженерам и рабочим, которые обладают соответствующими знаниями и опытом. То же касается и производства восстановительных работ с применением синтетических полимеров.

Однако качество восстановительных мероприятий и долговечность каждой восстановительной железобетонной конструкции наряду с квалифика-

цией персонала, выполняющего восстановительные работы, в значительной степени зависят от контроля, проводимого как во время производства восстановительных мероприятий, так и после их завершения. При этом очевидно, что контроль, осуществляемый заказчиком или его представителем, будет тем более действенный, чем более подробно соответствующие нормативные документы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- DIN 1045 Beton und Stahlbeton
- DIN 1048 Prüfverfahren für Beton
- DIN 1075 Massivbrücken
- DIN 1076 Überwachung von Verkehrsbauwerken
- DIN 4030 Beurteilung betonangreifende Wasser
- DIN 4093 Grundbau — Einpressen in Untergrund und Bauwerke
- DIN 4102 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
- DIN 4108 Wärmeschutz im Hochbau
- DIN 4149 Bauten in deutschen Erdbebengebieten
- DIN 4227 Spannbeton
- DIN 4232 Wände aus Leichtbeton
- DIN 18551 Spritzbeton
- CEB/FIP Mustervorschriften für Tragwerke aus Stahlbeton und Spannbeton
- Richtlinien für die Ausbesserung und Verstärkung von Betonbauwerken mit Spritzbeton, Deutscher Ausschluß für Stahlbeton 1976
- Merkblatt für Schutzüberzüge auf Beton bei sehr starken Angriffen nach DIN 4030, Bundesverband der Zementindustrie
- Merkblatt: Anwendung von Reaktionsharzen im Betonbau, Deutscher Betonverein 1978
- Merkblatt: Instandsetzen von Betonbauteilen, Deutscher Betonverein 1979
- Merkblatt für das Verpressen von Rissen in Koppelfugenbereichen von Spannbetonbrücken mit Reaktionsharzen, Bundesverkehrsministerium 1979
- Albrecht, R.: Bauschäden, Bauverlag Wiesbaden, 1976
- Brux, Linder, Ruffert: Spritzbeton, Spritzmörtel, Spritzputz, Verlagsgesellschaft R. Müller, Köln, 1981
- Czernin, W.: Zementchemie für Bauingenieure, Bauverlag Wiesbaden, 1977
- Dartsch, B.: Konservieren, Sanieren, Restaurieren, Beton Verlag Düsseldorf, 1978
- Eisenmann, J.: Betonfahrbahnen, Verlag W. Ernst+Sohn Berlin, 1979
- Favre, Koprna, Radojicic: Effets différés fissuration et deformation des structures en beton, Edition Georgi, Saint Saphorin, 1980
- Förstärkning av betongkonstruktioner, J.+W. Tekniska sekretariat Stockholm, 1978
- Knöfel, D.: Stichwort Baustoffkorrosion, Bauverlag Wiesbaden, 1975
- Meyer, A., Wierig, H.J., Husmann, K.: Karbonatisierung von Schwerbeton, Deutscher Ausschluß für Stahlbeton, H 208, Verlag W. Ernst+Sohn, Berlin, 1967
- Ruffert, G.: Ausbessern und Verstärken von Betonbauteilen, Beton Verlag Düsseldorf, 1977

- Rybicki, R.: Bauschäden an Tragwerken, Teil 1, Werner Verlag Düsseldorf. 1978
- Pilny, F.: Risse und Fugen in Bauwerken, Springer Verlag Wien, 1981
- Zimmermann, G.: Bauschädensammlung, Bd. 1, 2, 3, Forum Verlag, Stuttgart
- Instandsetzung und Schutz von Betonbauteilen, Seminar Technische Akademie Esslingen, Oktober 1981 in Wien
- Betonbauwerke: Überprüfen, Instandsetzen, Umbauen, Seminar VDI, 26. Oktober 1981 in Karlsruhe
- Bonzel, J.: Ein Beitrag zur Frage der Verformung des Betons, Betontechnische Berichte 1971, Beton Verlag Düsseldorf
- Bonzel, J.: Frost — Tausalz — Widerstand von Beton, Vortrag auf VDZ Herbsttagung 74 (Beton Heft 11, 1979)
- Danielewski, G.: Beton brennt wirklich nicht, Beton Verlag Düsseldorf, 1977
- Folgerungen aus Schäden an Massivbrücken, VDI Seminar Stuttgart, September 1981
- Forschungskolloquium des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, BAM Berlin, März 1981
- Ivanyi, G.: Sanierung von Rissen durch Epoxydharzinjektionen, Forschungsbeiträge für die Baupraxis, Karlsruhe 1979
- Kordina, K.: Schäden an Koppelfugen, Beton und Stahlbetonbau Heft 4, 1979
- Sanierung von Bauwerken mit Kunststoffen, Seminar Technische Akademie Esslingen, Oktober 1981
- Leonhardt, F.: Rißschäden an Betonbrücken — Ursachen und Abhilfe, Beton und Stahlbetonbau Heft 2, 1979
- Rehm, G.: Rißverhalten von Stahlbetonkörpern bei Zugbeanspruchung, Dokumentationsstelle Bautechnik, 1976
- Rehm, G.: Zur Frage der Prüfung und Bewertung des Verbundes zwischen Stahl und Beton, Forschungsbeiträge für die Baupraxis, Karlsruhe 1979
- Soretz, S.: Korrosion von Betonbauten, Zement und Beton 24/1979
- Wasserbau-Seminar, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Hochschule Aachen 1978
- Weigler, H., Klausen, D.: Ermüdungsverhalten von Beton, Betonwerk und Fertigteiltechnik Heft 4, 1979
- Wischers, H., Manns, W.: Ursachen für das Entstehen von Rissen in jungem Beton (Beton Heft 4 und 5, 1973)

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.		Стр.
Предисловие к русскому изданию	3	6.3. Сбор данных для оценки	
Предисловие	4	состояния строительного объ-	
1. Необходимость информации о		екта	31
разрушениях строительных объ-		6.4. Оценка результатов прове-	
ектов	5	денных обследований	34
2. Дефекты бетона, приводящие		7. Типичные причины выхода из	
к его разрушению	6	строя железобетонных конструк-	
3. Надежность железобетонных		ций	35
строительных объектов	11	7.1. Коррозия арматурной стали	35
3.1. Основные требования к на-		7.2. Химические воздействия на	
дежности железобетонных кон-		бетон	41
струкций	11	7.3. Хлориды	45
3.2. Влияние дефектов произ-		7.4. Водородная коррозия . . .	49
водства строительных работ		7.5. Повреждения в результате	
на запас прочности железобе-		щелочных реакций в бетоне	50
тонных конструкций	12	7.6. Повреждения в результате	
3.3. Выявление и исключение		землетрясений	52
факторов, снижающих надеж-		7.7. Бетонирование в стацио-	
ность строительных конструк-		нарной опалубке	54
ций	13	7.8. Повреждения при пожарах	55
3.4. Предпосылки для восста-		7.9. Трещины	63
новления повреждений железо-		7.10. Дефекты конструкций . . .	71
бетонных конструкций	16	8. Уязвимые участки в различных	
4. Необходимость проведения		группах строительных объектов .	73
профилактики строительных объ-		8.1. Фасады	73
ектов	18	8.2. Балконы	75
4.1. Подбор опытных специа-		8.3. Бетонные сооружения с за-	
листов для производства бе-		полнителем из кирпичного щеб-	
тонных работ	19	ня	76
4.2. Допустимые параметры, ус-		8.4. Мостовые сооружения . . .	78
танавливаемые строительными		8.5. Бетонные канализационные	
нормами и правилами	19	сооружения	85
4.3. Строительство из железобе-		8.6. Гидротехнические соору-	
тона — коллективная работа . .	20	жения	89
5. Контроль качества строитель-		8.7. Бетонные плиты проезжей	
ных сооружений из бетона	22	части дорожного полотна . . .	90
5.1. Регулярный контроль—тре-		8.8. Ребристые панели перекры-	
бование строительных правил	22	тий в стационарной опалубке	93
5.2. Цель контрольных обсле-		8.9. Предварительно напряжен-	
дований	24	ные конструкции	94
5.3. Объем контрольных обсле-		9. Выбор способа производства	
дований	25	ремонтно-восстановительных ра-	
5.4. Участие в обследованиях		бот	98
отраслевых научно-исследова-		9.1. Общие положения	98
тельских институтов	28	9.2. Способы производства ре-	
6. Анализ повреждений бетонных		монтно-восстановительных ра-	
конструкций	28	бот	99
6.1. Цель — способ производ-		9.3. Выбор наиболее пригодного	
ства	28	способа производства ремонтно-	
6.2. Систематизация данных о		восстановительных работ . . .	103
строительном объекте	30	9.4. Производство ремонтно-	
		восстановительных работ . . .	107
		Список литературы	109

Производственное издание

ГЮНТЕР РУФФЕРТ

**ДЕФЕКТЫ
БЕТОННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ**

Редакция переводных изданий

Зав. редакцией Р. Л. Рощина

Редактор Г. В. Беляева

Младший редактор С. В. Петрашова

Технический редактор Р. М. Вознесенская

Корректор Е. Б. Тотмина

ИБ № 3988

Сдано в набор 08.09.86 Подписано в печать 27.10.86
Формат 60×90^{1/16} Бумага тип № 1 Печать высокая
Усл. печ. л. 7,0 Усл. кр. отт. 7,25 Уч. изд. л. 7,16
Тираж 10 000 экз. Изд. № АВИ—1859 Зак. № 220/84
Цена 50 коп.

Стройиздат 101442, Москва, Каляевская, 23а
Отпечатано в Подольском филиале ПО «Периодика»
Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
142110, г. Подольск, ул. Кирова, д. 25

693.54
P 91

Schäden an
Betonbauwerken

Г. Руфферт

Дефекты бетонных конструкций



Москва
Стройиздат